Aus dem Anatomischen Institut
der Tierärztlichen Fakultät der Universität München
(Vorstand: Professor Dr. A. O. Stoß)

Das Sprunggelenk des Rindes. Bau- und Bewegungsart.

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde der Tierärztlichen Fakultät
der Ludwig-Maximilians-Universität
München.

Vorgelegt von
Kurt Hagenbuch
aus Bergzabern.

Mit 11 Abbildungen.

München 1938

Gedruckt in der Dissertationsdruckerei von Robert Kleinert, Quakenbrück.

Aus dem Anatomischen Institut
der Tierärztlichen Fakultät der Universität München
(Vorstand: Professor Dr. A. O. Stoß)

Das Sprunggelenk des Rindes. Bau- und Bewegungsart.

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde der Tierärztlichen Fakultät
der Ludwig-Maximilians-Universität
München.

Vorgelegt von
Kurt Hagenbuch
aus Bergzabern.

Mit 11 Abbildungen.

München 1938

Gedruckt in der Dissertationsdruckerei von Robert Kleinert, Quakenbrück.

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41554005_0158

Einteilung:

A. Einleitung 7

B. Literatur 8

C. Eigene Untersuchungen 13

I. Material und Technik 13

II Anatomie des Sprunggelenks 17

1. Die knöcherne Grundlage 17

2. Die Gelenkkapsel 22

3. Der Bandapparat 24

a) die gemeinsamen Bänder 24

b) die besonderen Längsbänder 25

c) die Querbänder 26

III. Kinematik 27

a) Allgemeines über Bewegung in Schraubengelenken . 27

b) Die Grundgestalt der Rolle 29

c) Die Abhängigkeit der Teilgelenke voneinander . . 32

d) Beteiligung der Teilgelenke am ganzen Bewegungsumfang 34

e) Die Größe des Gesamtbewegungsumfangs . . . 35

f) Der Bewegungsumfang am lebenden Tier . . . 38

IV. Untersuchungsergebnisse 39

V. Schluß-Sätze 44

D. Literaturverzeichnis 46

A. Einleitung.

Die Gelenke der Extremitäten der Wiederkäuer sind weniger der Gegenstand häufiger und eingehender Untersuchungen gewesen als jene der Einhufer, da die Wiederkäuer nicht als reine Bewegungstiere in schneller Gangart oder im schweren Zug wirtschaftliche Bedeutung finden, sondern ihr Nutzwert vielmehr auf dem Gebiete der Milch-, Fett- und Fleischproduktion liegt. Wenn trotzdem eine gründliche Bearbeitung auch der Gelenke der landwirtschaftlichen Nutztiere, welche in erster Linie der Ernährung dienen, sehr erwünscht erscheint, so liegt der Grund hierfür in dem Umstande, daß die Nutzleistung auch dieser Tiere in hohem Maße von der regelrechten Entwicklung und der Gesundheit der Gelenke abhängt. Nicht nur Weidegang, sondern auch Leistung im Gespann männlicher Tiere und gelegentlich auch weiblicher Tiere wird durch Funktionsstörungen im Gelenk beeinträchtigt, sondern auch das Stehen im Stall kann bei schmerzhaften Gelenkerkrankungen den Nutzwert der Tiere mindern oder bei Bullen die Unmöglichkeit der Ausführung des Deckaktes zur Folge haben. Gerade der Umstand, daß gut entwickelte Gelenke zum Gesamtbild der Gesundheit und der Leistung gehören, andererseits aber Gelenkerkrankungen bei unseren Wiederkäuern nicht selten vorkommen, erfordert ein genaues Studium des Baues und der Tätigkeit der Gelenke, damit für Beurteilung, Untersuchungstechnik und Behandlung von Störungen die richtigen Wege gewiesen sind.

Ueber das Sprunggelenk des Rindes wurde am hiesigen Tieranatomischen Institut schon im Jahre 1922 eine Arbeit fertiggestellt, die in sehr knapper Form die Untersuchungsergebnisse über dieses Gelenk mitteilt. Infolge wirtschaftlicher und technischer Schwierigkeiten, die in den ungünstigen Vrehältnissen jener Jahre ursächlich bedingt waren, war jedoch die Drucklegung der Arbeit in ihrer Gesamtheit nicht möglich, sondern es konnte nur ein ganz kurzer Auszug, der das wesentlich Neue brachte, in Form eines Autoreferates des Verfassers in der „Tierärztlichen Rundschau“ veröffentlicht werden (1). Da jedoch dieser ganz kurze Auszug eine Grundlage, beispielsweise für die Erfordernisse chirurgischer Tätigkeit, nicht bieten kann, habe ich auf die Veranlassung von Herrn Professor Dr. A. O. Stoß, dem Vorstand des tieranatomischen Instituts der Universität München, erneut die Untersuchung über das Tarsalgelenk des Rindes, seine Anatomie und Kinematik, aufgenommen und die Ergebnisse in der vorliegenden Arbeit niedergelegt.

B. Literatur.

Ellenberger—Baum (2) sagen über die knöcherne Grundlage des Sprunggelenks folgendes: „Der Tarsus besteht aus nur 5 Knochen, weil das Os tarsi centrale mit Os tarsale 4 und das Os tarsale 2 mit Os tarsale 3 zu je einem Knochen verwachsen sind.

Das Os tarsi tibiale ist länger, aber schmäler als beim Pferd, die Kämme der proximalen Gelenkrolle stehen fast sagittal. Die distale Fläche ist gewölbt und bildet eine Gelenkrolle, die auf dem Centrotarsale ruht. Die plantare Fläche ist, abgesehen von einigen rauhen Stellen, überknorpelt und artikuliert mit Os tarsi fibulare. Die rauhe und vertiefte laterale Fläche besitzt zwei Gelenkflächen zur Verbindung mit dem Os tarsi fibulare. Der laterale Rollkamm artikuliert auch mit dem Knöchelbein.

Das Os tarsi fibulare ist länger und schmäler als beim Pferde; der kurze mediale Fortsatz ist an seiner dorsalen Fläche ganz mit Knorpel überkleidet. Das distale Ende des Körpers ist stark seitlich komprimiert und trägt am dorsalen Rand eine Gelenkfläche zur Artikulation mit dem Os malleolare. Das distale Ende artikuliert mit dem Centrotarsale. Das in dorsaler und plantarer Richtung abgeschrägte Tuber calcanei ist plantar überknorpelt.

Das Os centrotarsale, der vereinigte centrale und 4. Tarsalknochen, nimmt die ganze Breite des Tarsus ein und ist lateral so hoch wie die mittlere und metatarsale Reihe zusammen. Die proximale Fläche artikuliert lateral mit Os tarsale tibiale; an ihrem medioplantaren Rande wird sie von einem beckenwärts gerichteten Fortsatze überragt, der dem Tarsale tibiale als Lehne dient. Die distale Gelenkfläche verbindet sich lateral mit dem Metatarsus, medial mit dem Tarsale 1 und mit Tarsale 2 und 3.

Der zweite und dritte Tarsalknochen sind verschmolzen zu einem Knochen, der fast viereckig ist, zusammen mit Tarsale 1 den Raum zwischen dem medialen Teil des vorigen und dem Mittelfuß ausfüllt und zur Verbindung mit ihnen eine proximale und eine distale Gelenkfläche hat. Die Ränder sind rauh bis auf schmale Gelenkflächen zur Artikulation mit dem Centrotarsale und Tarsale 1.

Der erste Tarsalknochen liegt plantar vom vorigen und artikuliert mit dem Centrotarsale und dem Metatarsale 3 und 4; medial von ihm befindet sich ein kleines Sesambein."

Von dem Bandapparat am Sprunggelenk der Wiederkäuer setzt sich nach Ellenberger — Baum das kurze laterale Seitenband mit seinem einen Ende nur am Os tarsi tibiale an, das kurze mediale Seitenband mit einem Schenkel auch an diesem, mit dem anderen zehenwärts viel breiteren Schenkel am Os tarsi fibulare und am plantaren Fortsatz des Centrotarsale an. Das Ligamentum tarsi dorsale ist sehr schwach. Das Os tarsi tibiale verbindet sich plantar mit dem

Os malleolare durch ein starkes Querband. Von den Zwischenreihenbändern der Cruralreihe und der mittleren Reihe fehlt das innere Band. Das Plantarband ist sehr schwach, dagegen ist aber ein anderes starkes Plantarband vorhanden, das vom Os tarsi fibulare zum medialen Teil des Centrotarsale reicht. Das Centrotarsale verbindet sich mit dem Metatarsus durch ein plantares und mediales mit T_2 und T_3, sowie mit T_4 durch ein schwaches dorsales Band sowie durch Querbänder. Das laterale Querband endet dorsal unter der Gelenkrolle von Os tarsi tibiale.

Bei Martin (9) finden wir über das Sprunggelenk folgende Angaben: „Das Rollbein steht nahezu gerade und ist, abgesehen von dem Gelenke mit dem Unterschenkelknochen, noch durch je ein Wechselgelenk mit dem Fersenbein und dem Centrotarsale verbunden (distales Sprunggelenk). Die distale und die plantare Gelenkerhabenheit sind größer als die entsprechenden Gelenkvertiefungen. Die laterale Abteilung der Rolle steht schiefer und hat einen wesentlich kleineren Radius als die mediale.

Sämtliche Gelenkflächen des Rollbeins sind von einer gemeinsamen Kapsel umhüllt. Diese bildet einen proximalen, distalen und plantaren Sack. Die gemeinschaftliche Verbindung dieser Säcke befindet sich an der lateralen Seite und proximal, sie führt erst in den plantaren und dann in den distalen Sack. Die Gelenkkapsel zwischen Tarsale 2 und 3, dem medialen Sehnenknochen und dem Centrotarsale, sowie jene der distalen Reihe mit dem Mittelfußknochen sind vollkommen von der Hauptkapsel abgetrennt. Das dorsale schiefe Band fehlt.

Das Sprunggelenk des Wiederkäuers ist viel beweglicher als das des Pferdes. Es federt aber nicht.“

Diese Beschreibung Martins deckt sich mit einer früheren Beschreibung von Franck (5), nur spricht dieser Autor statt von einem proximalen, einem plantaren und distalen von einem oberen, hinteren und unteren Sack der Gelenkkapsel. Auch er verneint das Vorhandensein einer Federung.

Langer (8), der als erster die Schraubennatur des Sprunggelenks erkannte, untersuchte eine Reihe von Säugetierskeletten und kam zu dem Ergebnis, daß die schiefe, „wendelförmige“ Gangrichtung des Sprunggelenkes allen Säugetieren zukomme. Er machte Gipsabgüsse von den Sprungbeinrollen der meisten untersuchten Tiere und suchte sie zu einem vollen Schraubenumgange zu ergänzen. Ueber das Ergebnis beim Rinde äußert er sich nicht. Ganz allgemein aber gibt er an, daß er, trotzdem seine Angaben nur Schätzungen seien, weil es nicht möglich war, die Achsen genau zu ermitteln, doch behaupten könne, daß bei keinem Säugetiere der Neigungswinkel der Ganglinien gegen die Rollenbasis sich so klein herausstellt, daß diese zu einem Kreissegment würde.

Ueber die Grundgestalt der oberen Sprungbeinrolle sagt er: „Bisher wurde als Grundgestalt der Sprungbeinrolle ein Zylinder angenommen, dies ist beim Pferde und beim Halmataurus wie es scheint auch der Fall; doch zeigt die Rolle der meisten genannten anderen Tiere nach innen einen geringeren Umfang als nach außen zu, sodaß die Rolle in ihrer Grundgestalt eine konische Form mit nach innen gerichteter Spitze annimmt. Da bei der Flexion die Tibia nach außen gegen die Basis der Kegelschraube, also gewissermaßen schraubauf, sich bewegt, so wird das Gelenk in der extremen Flexion wie festgeschraubt und die weitere Bewegung gehemmt."

Ueber die Verteilung der gesamten Bewegung auf das obere und untere Gelenk berichtet der Verfasser: „Um eine bestimmte Exkursion des Fußes auszuführen, beteiligen sich die beiden Gelenke bald abwechselnd, bald gleichzeitig, meist aber in der Art, daß das Maximum der Bewegung in dem einen erst dann eintritt, wenn das andere ausgespielt hat." Für die ganze Exkursion der Beugung am Präparat beim Rind gibt er den Wert von 110° an und sagt, daß davon nur 15° im oberen Gelenk ausgeführt werden, bis 55° in beiden zusammen und der Rest von 55° allein im unteren. Ueber die Technik der Messung macht er keine Angaben.

Aus der Form des Taluskopfes, der zu einer Rolle geworden ist, schließt er, daß die sogenannte Pro- und Supination elidiert ist und nur eine Flexion mit lateraler Verschiebung möglich sei. Die Achsen beider Rollen sind untereinander nicht parallel, sondern konvergieren nach innen gegen die Drehungsachse des ganzen Sprungbeins.

Die Grundgestalt der unteren Rolle ist ein Zylinder, während die Achse der Artikulation talo-calcanea bei den Wiederkäuern und dem Schwein durch das Sprungbein geht.

Henke (6), der sich mit der Anatomie und Mechanik der Gelenke befaßte, widerlegt Langer:

„Der Beweis Langers für das Vorliegen einer Schraube, deren Grundkörper ein Kegel sei, im Sprungbein ist falsch. Er stützt sich darauf, daß die äußere Peripherie der Rolle größer ist als die innere, was aber ebensogut zwischen zwei Gängen derselben Schraube der Fall sein kann, wenn sie auf verschieden weiten Zylindern um dieselbe Achse gedreht sind." Eine Bewegung in einem Kegelschraubengelenk sei ja schon deshalb nicht möglich, weil zu einer Kegelschraube keine kongruente Schraubenmutter denkbar wäre.

Pütz (10) macht im Zusammenhang mit seinen Untersuchungen über die Sprunggelenke einer Reihe von Tieren, insbesondere über das des Pferdes, auch Angaben über das Sprunggelenk des Rindes. Er bestimmte den Neigungswinkel der Rollen durch Anlegen einer Tangente an den Rollenkamm mit der Begründung, daß die Ganglinie bei ihrer verhältnismäßig geringen Länge unbedenklich als Gerade angesehen werden könne. Als Wert für den Neigungswinkel der oberen Rolleisten

(er spricht nur von einem Neigungswinkel) gibt er 0°—4,5° (im Mittel 3°) an. Er bestätigt die Angabe von Franck (5), daß das Rollbein bei den Wiederkäuern „gerade stehe". Von den Radien der proximalen Rolle sagt er, der Radius des medialen Kammes betrage 78—78,2 % von dem des lateralen Kammes. Als Wert der Radien in mm für lateralen Kamm gibt er 25,0—27,5, für den medialen 19,5—21,5 an. Da Langer (8) aus diesem Verhalten der Radien den Schluß gezogen hat, es handele sich hier um eine Kegelschraube, so glaubt der Verfasser ihm widersprechen zu müssen und schließt sich Henke (6) an, der glaubt, es handele sich nur um die verschiedene Weite der Gänge einer Zylinderschraube. Endlich weist Pütz darauf hin, daß die Verjüngung des Sprungbeins nach medial durch eine entsprechende Abschrägung des unteren Endes des Unterschenkels völlig ausgeglichen wird. In Bezug auf die untere Rolle sagt er, daß ihr bei den Paarzehern der größte Teil der Beuge- und Streckbewegung übertragen werde. Er gibt auch für die distale Rolle einen Neigungswinkel mit dem Wert von 6—7° an. Die Ganglinie des unteren Sprunggelenks sei durchgehend steiler als die des oberen und „erhebt sich zu Werten, die hinter den dortigen des Pferdes nicht zurückstehen". Die beiden Gelenkleisten besäßen ungleich denen des oberen Gelenks bei Rind und Schaf denselben Durchmesser.

Böltz (1) hat seine Arbeit selbst dahingehend zusammengefaßt:

„Das obere Sprunggelenk des Rindes ist ein Schraubengelenk, dessen Grundgestalt ein Zylinder ist. Es handelt sich um eine Doppelzylinderschraube, und zwar ist sie bei dem rechten Gelenk links gedreht, bei dem anderen rechtsgedreht. Die Radien der beiden Rollkämme stehen im umgekehrten Verhältnis zu ihren Neigungswinkeln. Der Radius des lateralen Rollkammes beträgt durchschnittlich 120 % des medialen, der laterale Neigungswinkel dagegen im Mittel 75 % des medialen.

Die Achse des Tibio-Tarsalgelenkes ist von außen nach innen geneigt. Das untere Sprunggelenk ist ebenfalls ein Schraubengelenk mit einem Zylinder als Grundgestalt, die Schraubengänge verlaufen umgekehrt wie im oberen Gelenk. Im Gegensatz zum oberen Gelenk sind hier die Radien bzw. Neigungswinkel näherungsweise gleich, während die Achse entgegengesetzt der oberen, also von innen nach außen geneigt ist.

Während beim Pferd eine Bewegung nur im oberen Sprunggelenk möglich ist, haben wir beim Rind noch hinzukommend die Bewegung im unteren Sprunggelenk und im Sprungbein-Fersenbeingelenk. Die Bewegung erfolgt in der Weise, daß man beim Uebergang von extremer Streckstellung in Beugung eine Bewegung gleichzeitig in 3 Gelenke in Erscheinung tritt. Zuerst schließt sie im plantaren und hierauf im proximalen Sprunggelenk ab, während sie im distalen allein weitergeführt wird, bis zur extremen Beugestellung.

Zur Festlegung des Bewegungsvorganges wurde das von A. O. Stoß konstruierte Rahmengestell benutzt. Der Bewegungsumfang beträgt insgesamt 118°, davon erfolgt im oberen Gelenk ausschließlich eine Bewegung von 78—80°, im plantaren Gelenk 20°. Die distale Reihe des Tarsalgelenkes ist ohne jede Bewegung. Eine Federung, die von Pütz (10) in Abrede gestellt wird, ist sehr wohl zu beobachten, doch kommt sie praktisch nicht in Frage. Die Messungen am lebenden Tier ergaben eine Normalstellung von 133°, eine extreme Beugung von 60° und eine extreme Streckung von 155°."

Von Kripp (7) weist darauf hin, daß er sein Hauptaugenmerk gerichtet habe auf die Funktion und Gestalt des Astragalus, der ja bei den Pecora als ein in das Gelenk eingeschaltetes Zwischenstück aufgefaßt werden könne, und sagt wörtlich:

„Die verschiedene Wirkungsweise der hinteren Extremität kommt uns so recht zum Bewußtsein, wenn man z. B. ein Pferd und ein Reh, noch vielmehr einen Springbock beim Springen vergleicht. Man muß aber, um zu einer klaren Vorstellung der Verhältnisse zu kommen, von den extrem spezialisierten Typen ausgehen. Beim Pferd ist ja der Sprung — man hat auch gleich den Eindruck davon — ein ungewöhnliches Hilfsmittel oder eine künstlich anerzogene Fortbewegungsweise. Es bietet auch der Sprung eines Pferdes das Bild eines schweren, über das Hindernis gezogenen oder ohne Federung vom Boden weggedrückten Körpers. Beim Reh dagegen scheint es, als wäre der Antrieb von hinten unverhältnismäßig stark, ja übergroß."

Der Verfasser gibt dann einen Ueberblick über den Sprunggelenksmechanismus beim Pferde und stellt diesem „einfachen Mechanismus beim Pferde" die „viel kompliziertere Astragalusbewegung bei den Pecora" gegenüber. Zum besseren Studium der Bewegung fixiert der Verfasser einen 20 cm oberhalb der Fußwurzel abgeschnittenen Kalbsfuß am Mittelfuß und drückt den Calcaneus „bei gestrecktem Bein kranial über die Strecklage hinaus" und findet, daß der Talus und mit ihm der Unterschenkel mit seinem vorderen Ende aus der Fußwurzel herausschnappt; „er wird quergestellt". „Es wird nämlich", fährt der Autor fort, „durch dieses Verschieben, Ueberdrehen des Calcaneus seine Stellung zum Navikulare geändert, d. h. die Fußwurzel knickt ein. Das Navikulare nähert sich dabei dem Calcaneus, und der Astragalus wird dabei in eine zur Fußwurzel quere Lage gequetscht."

„Das Hinausschleudern des Astragalus, mit ihm des Unterschenkels und des ganzen Körpers, geschieht auf folgende Weise: Durch Ueberstrecken oder Ueberdrehen des Calcaneus nach vorn (die Muskeln, die mittels ihrer Sehnen am Calcaneus angreifen, überspringen zum Teil die Tibia) und das Hinaufpressen des Navikulare (näher an den Calcaneus). Dieses Hinaufpressen wird noch begleitet von einer kräftigen Drehung nach außen, an der Aufgleitfläche."

Der Verfasser sucht nun die Paar- und Unpaarzehigkeit funktionell zu erklären, wobei er zur folgenden Ueberlegung kommt: „Man muß annehmen, daß die Unpaarhufer (Extrem Pferd) und die selenodonten Paarhufer ursprünglich zwei verschiedene Bewegungsformen, im ersteren Falle hauptsächlich Laufen, im zweiten Falle hauptsächlich Springen, annahmen."

Der Vorgang beim Springen wird folgendermaßen beschrieben: „Zunächst wird das Bein zum Sprungansatz gebeugt, die Tibia und mit ihr der Körper sinkt herab. Beim Sprung wird zunächst der Calcaneus auf der Aufgleitfläche hinaufgezogen, sodaß er sich mit dem Astragalus und Unterfuß aufrichtet, bis er am Anschlag angelangt ist. Die Tibia hat sich ebenfalls bis zum Anschlag aufgerichtet. Ein weiteres Durchdrücken der Fußwurzel ist nicht mehr möglich, und trotzdem wird der Calcaneus noch weiter nach vorn gedrückt. Dies kann nur dann geschehen, wenn er sich überstreckt und der Anschlag nach vorn ausweicht. Dies geschieht eben dadurch, daß der Astragalus nach vorn aus der Fußwurzel hinausgeschleudert wird. Er nimmt dabei die Tibia mit und diese schwingt nach vorn."

C. Eigene Untersuchungen.

I. Material und Technik.

Das zu meinen Untersuchungen verwendete Material wurde mir zur Verfügung gestellt von der Sanitätsanstalt des Schlachthofes in München und bestand aus distaler Hälfte der Tibia mit Sprunggelenksknochen und proximaler Hälfte des Metatarsus in natürlicher Verbindung, in frischem Zustand; zur Untersuchung kamen Gelenke von männlichen und weiblichen Rindern verschiedenen Alters und verschiedener Rassen, je nach Anfall. Bedacht genommen wurde darauf, daß nur gesunde Gelenke, d. h. solche ohne makroskopisch nachweisbare pathologische Veränderungen, verwendet wurden. Besondere Konservierungsmethoden brauchten nicht angewendet zu werden, da das Material regelmäßig innerhalb kurzer Zeit verarbeitet werden konnte Da die Art der Materialbeschaffung es mit sich brachte, daß Kontrollmessungen am lebenden Tier den Untersuchungen am toten Gelenk nicht vorausgehen konnten, so versuchte ich diesen Nachteil dadurch auszugleichen, daß ich in dem Bestande des Institutes für Geburtshilfe eine Reihe von Kontrollmessungen an männlichen und weiblichen Tieren anstellte. Bei diesen Untersuchungen am lebenden Tier zeigte es sich, daß nur ruhige Tiere sich zu genauen Messungen eigneten, während die erzielten Ergebnisse an unruhigen Tieren wegen ihrer Ungenauig-

keit unberücksichtigt gelassen werden mußten. Es stellte sich auch heraus, daß bei der von mir angewendeten Untersuchungstechnik, die im Folgenden näher erläutert wird, sich feinhäutige Tiere mit schlechtem bis mäßigem Nährzustand viel besser zur Untersuchung eigneten als solche mit dicker Haut und sehr gutem Nährzustand oder übermäßigem Fettansatz. Die Schwierigkeit bei den letzteren bestand darin, daß sich die zur Untersuchung festzulegenden Punkte schlecht durchpalpieren ließen. Schwierigkeiten, wie sie entstehen könnten auf Grund einer besonderen Beschaffenheit des Haarkleides, wie Struppigkeit und große Dichte, habe ich nicht gesehen.

Bei den Messungen des Bewegungsumfanges am lebenden Tier benutzte ich drei fixe Punkte. Als Scheitelpunkt des jeweils zu messenden Winkels benutzte ich die Stelle des lateralen langen Seitenbandes, die sich über dem Rollbein am deutlichsten markiert, also den Bandhöcker des Os malleolare. Die beiden Schenkel legte ich fest, einmal durch das Köpfchen der rudimentären Fibula und andererseits durch den lateralen Bandhöcker am Distalende des Metatarsus. Mit einem entsprechend großen Zirkel stellte ich nun die gegenseitige Lage dieser drei Punkte zueinander fest, und zwar jedesmal in der Normalstellung, in der äußersten (passiven) Streck- und in Beugestellung. Streck- und Beugestellung ließ ich mir durch einen Gehilfen herstellen. Die auf diese Weise festgelegten Abstände der drei Punkte voneinander übertrug ich auf ein Zeichenblatt und legte den von ihnen jeweils eingeschlossenen Winkel mit Hilfe eines Winkelmessers fest. Diese Art der Messung bedarf zwar einer Uebertragung des Winkels mittelst des fixierten Winkelmessers auf das Papier, stellt also keine direkte Messung dar, liefert aber dafür genauere Werte als die direkte Messung an der Extremität.

Bei meinen Untersuchungen am herausgenommenen Gelenk gab ich der nicht immer gewählten aufbauenden Methode den Vorzug, d. h. ich untersuchte gewissermaßen „von innen nach außen". Dabei ließ ich mich von der Ueberlegung leiten ,daß es sehr zweckmäßig sei, erst die knöcherne Grundlage des Gelenkes zu untersuchen und zu beschreiben, weil es dann um so einfacher ist, sich mit dem Bandapparat, seinen Ansatzpunkten an den verschiedenen Knochenteilen usw. zu befassen. Die Gelenkkapsel, die beide, knöcherne Grundlage und Bandapparat, umschließt, mußte so notwendigerweise zuletzt untersucht werden. Diese Methode hat meiner Meinung nach neben dem Vorteil der größeren Uebersichtlichkeit und des logischen Aufbaues nur den Nachteil des größeren Materialverbrauches. Dieser Nachteil konnte aber im vorliegenden Falle leicht in Kauf genommen werden, da die Materialbeschaffung keinen erheblichen Schwierigkeiten begegnete.

Die Evoluten (Kreismittelpunktslinien) der Rollkämme und -furchen konstruierte ich mir folgendermaßen: Zunächst fertigte ich mir Sagittalschnitte senkrecht zur Krümmungsachse an, indem ich auf einer

glatten Unterlage Farbkörnchen ausstreute und darauf die angefeuchtete Rolle „abrollte“. Dadurch zeichnete sich auf dem First des Kammes eine Linie an, der ich nur mit einer sehr feinen Säge nachzuschneiden hatte, um einen Sagittalschnitt zu erhalten. Letzteren projizierte ich auf ein Zeichenblatt und erhielt so eine etwa halbkreisförmige Linie. Diese Umrißlinie teilte ich nun in beliebig viele gleiche Bogenstücke, für die jeweils der Radius als konstant angesehen werden kann. Die Schnittpunkte der Radien je zweier nebeneinanderliegender Bogenstücke miteinander verbunden, ergeben die Evolutenteilstücke, welche sich schließlich zur Evolute ergänzen.

Zur Volumenbestimmung der von der Gelenkkapsel umschlossenen Gelenkhöhle erprobte ich verschiedene Methoden. Einmal versuchte ich das Volumen zu bestimmen durch Injektion von Gips, wobei dann das Volumen des verbrauchten Gipses mit Hilfe seiner Wasserverdrängung festgestellt werden sollte. Es zeigte sich aber, daß beim Entfernen der Kapsel und beim Auseinandernehmen der Gelenkteile, was — wie an anderer Stelle erwähnt — nicht ohne erhebliche Gewaltanwendung zu bewerkstelligen ist, ein erheblicher Teil der injizierten Gipsmasse verlorengeht und schon dadurch das Messungsergebnis ein recht ungenaues wird. Aus den eben dargelegten Schwierigkeiten ergab sich die Notwendigkeit, ein Verfahren zu finden, mit dem die injizierte Masse nicht nach der Injektion erst ihrem Volumen nach bestimmt werden konnte, sondern die Volumenbestimmung mußte sofort nach erfolgter Injektion, ohne eine Gelenkseröffnung, geschehen können. Nach einigen mißlungenen Versuchen mit wässerigen Flüssigkeiten fand ich folgende brauchbare Methode: Ich nahm zum Versuch Gelenke, bei denen nur die Haut abgetragen, sonst aber keinerlei Präparation vorgenommen war; insbesondere war auf die bestmögliche Erhaltung der Kapsel Bedacht genommen. Durch eine starre Verbindung zwischen Tibia und Calcaneus fixierte ich die Tibia im Punkte des labilen Gleichgewichtes (welcher etwa der Normalstellung entspricht), um Bewegungen im Gelenk während der Injektion auszuschließen und gleichzeitig die Gewähr zu haben, daß ich die Injektion bei allen Gelenken in der gleichen Stellung durchführte. Da ich die injizierte Menge schon bei der Injektion messen wollte, mußte ich die im Gelenk befindliche Synovia mit einer Spritze an der tiefsten Stelle des Gelenkes aussaugen. Bei diesem Aussaugen war es aber wieder unvermeidlich, daß Luft in die Kapsel eindrang und das Ergebnis beeinflußte. Um das zu umgehen, legte ich im höchsten Punkt der Kapsel eine zweite Kanüle ein und begann durch die untere Kanüle die Injektion. Injiziert wurde dickflüssiges Motorenöl, das ich mit Farbkörnchen versetzte, mit einer geeichten Injektionsspritze. Während durch die untere Kanüle ganz langsam das Oel injiziert wurde, konnte durch die obere Kanüle die eingedrungene Luft entweichen; als aus der oberen Kanüle Oel auszutreten drohte, wurde sie herausgenommen und die Kapsel weiter bis

zur Prallspannung gefüllt. Mittels der geeichten Spritze konnte die zur Injektion benötigte Menge angegeben werden.

Meine Messungen bezüglich der Knorpelstärken führte ich an senkrecht zur Knorpelfläche angelegten Schnitten durch mit Hilfe einer Schieblehre mit Noniuseinteilung und ganz spitz ausgezogenen Backen. Diese Methode wird von Seidel (11), der sie an Hand von mikroskopischen Messungen überprüfte, als zuverlässig bezeichnet.

Zur Bestimmung der Neigungswinkel folgte ich der von A. O. Stoß (14) angegebenen Methode der Aufrollung der Schraubenlinie, da die Bestimmung des Neigungswinkels durch Anlegen einer Tangente an den Rollenkamm, wie sie Pütz (10) durchführte, nach A. O. Stoß (14) nicht einwandfrei ist, weil der Rollenkamm in der Projektion keine Gerade ist.

Um den Bewegungsvorgang festzulegen, benutzte ich das von A. O. Stoß (14) konstruierte Gelenkphantom, mit dessen Hilfe es möglich ist, die Bewegungen eines Gelenkes räumlich auf einem Kugelgradnetz darzustellen. Auch ich benutzte den medialen und lateralen Pol, wie ihn Strasser (13) und dann A. O. Stoß anwendeten, im Gegensatz zu Fick (3), der einen oberen und unteren Pol benutzt. Durch den medio-lateralen Pol wird bei der Untersuchung der Bewegung im Sprunggelenk ein wesentlich klareres Bild erzielt und der Untersuchungsgang ist bedeutend einfacher, weil infolge der weit auseinanderliegenden Meridiane die Einzeichnung der Bewegungslinie weit genauer geschehen kann als in der Nähe der Pole, wo infolge der sich zusammendrängenden Meridiane ein undeutliches Bild entsteht. Es erwies sich ferner als sachdienlich, den Metatarsus zu fixieren. Dabei ist zu berücksichtigen, daß die Bewegungen der Tibia genau in entgegengesetzter Richtung verlaufen wie die des Metatarsus, daß also einer Plantarwärtsbeugung und Einwärtsführung der Tibia eine Dorsalbeugung und Auswärtsführung des Metatarsus entsprechen muß. Die gemeinsame Sprunggelenksachse, die zu Beginn des Versuches aufgesucht werden muß, fand ich auf folgende Weise: In die Seitenfläche der Tibia bohrte ich ein Loch und steckte einen Nagel hinein, an dem ein Bindfaden befestigt war. Mit diesem Faden suchte ich am Rollbein denjenigen Punkt auf, dessen Entfernung vom Nagel bei jeder Bewegung des Gelenkes gleichblieb; d. h. wenn ich den Faden an einen in diesem Punkte befestigten Nagel fixierte, so änderte sich der Spannungszustand des Fadens bei der Bewegung nicht wesentlich. Dieses Verfahren wiederholte ich auf der anderen Gelenkseite und hatte so die Richtung der gemeinsamen Sprunggelenksachse festgelegt.

Die Fixation der drei Teilgelenke bei meiner Versuchsreihe über deren Abhängigkeit voneinander führte ich folgendermaßen durch:

Zum Fixieren des Talo-Cruralgelenkes wurde mit einem langen Drillbohrer der Malleolus lateralis durchbohrt und das Bohrloch in

den lateralen Rollkamm hinein weitergeführt und ein Stift eingesteckt. Ein zweiter Stift durchbohrte das craniale Ende des Kammes zwischen den beiden Auskehlungen der Tibia und steckte in der Rollfurche der proximalen Rolle.

Das Talo-Calcanealgelenk wurde dadurch fixiert, daß durch das Sustentaculum in Richtung auf die Calcaneusfläche des Talus und ein Stück in diesen hinein ein Bohrloch hineingeführt wurde, in das ein Stift eingeschoben werden konnte. Dieser Stift genügte zur Fixation.

Den größten Schwierigkeiten begegnete die Fixation des Talo-Centrotarsalgelenkes. Es zeigte sich nämlich, daß eine Fixation in der Weise, daß das Os centrotarsale von dorsal und distal in der Richtung auf den medialen Rollkamm der distalen Rolle zu durchbohrt und ein Stift eingeschoben wurde, nicht genügte, weil die beim Beugen des Gelenkes entstehende Hebelwirkung zu groß war. Eine zuverlässige Festigung wurde erst dann erreicht, als auf die mediale und dorsale Fläche des Os centrotarsale und der Rolle kräftige Metallstücke von rechteckiger Form, die eine Lochung hatten, mit Holzschrauben aufgeschraubt wurden.

Mußten zwei Teilgelenke fixiert werden, so wurden die Fixationsmethoden, die oben für die einzelnen Teilgelenke angegeben sind, für zwei Teilgelenke gleichzeitig angewendet. Die Stifte, die zur Fixierung in die Bohrlöcher eingeschoben wurden, bestanden aus unbiegsamem Stahl.

II. Anatomie des Sprunggelenks.

1. Die knöcherne Grundlage.

Das Sprunggelenk des Rindes gehört zu den sogenannten zusammengesetzten Gelenken; hinsichtlich seiner Funktion ist es aus drei verschiedenen Teilgelenken zusammengesetzt, deren Abhängigkeit voneinander Gegenstand späterer Erörterungen sein soll. Im Gegensatz zum Sprunggelenk des Pferdes, bei dem eine Bewegung nur statthat zwischen Tibia und Talus, finden wir beim Rinde Bewegung in drei Gelenken, also in dieser Hinsicht ähnliche Verhältnisse wie beim Sprunggelenk des Menschen. Die drei Teilgelenke sind:

1. Das Talo-Cruralgelenk (das Gelenk zwischen Os tarsi tibiale einerseits und Tibia mit Fibularest andererseits),
2. Das Talo-Centrotarsalgelenk (das Gelenk zwischen Os tarsi tibiale und dem Os centrotarsale),
3. Das Talo-Calcanealgelenk (das Gelenk zwischen Os tarsi tibiale und dem Os tarsi fibulare).

Das Talo-Cruralgelenk wird gebildet vom Distalende der Tibia (Abb. I) und der rudimentären Fibula, die wie ein Ausschnitt aus

einer Schraubenmutter von oben her fest die beiden Rollkämme des Rollbeines mit den beiden Auskehlungen (Abb. I, 3 u. 4), die durch einen Kamm (Abb. I, 5) getrennt sind, umfassen. Der Verlauf des mittleren Kammes liegt ungefähr in der durch die Knochenschaftachse gelegten Sagittalebene.

Die mediale Wange wird vom Malleolus medialis (Abb. I, 2), einem distal gerichteten, spitzen Fortsatz der Tibia, die laterale vom Os malleolare gebildet.

Das Os malleolare (Abb. I, 1), das Knöchelbein, stellt das Rudiment der Fibula dar, welches von der Tibia getrennt bleibt, jedoch durch ganz kurze und kräftige Bandmassen straffgelenkig mit ihr verbunden ist (Abb. I, 6). Proximal trägt es zwei kleine Gelenkflächen für die Tibia, welche durch einen in eine keilförmige Vertiefung des Schienbeins sich einsenkenden spitzen Fortsatz voneinander getrennt sind. Die distale Fläche besitzt eine Gelenkvertiefung für das Fersenbein, während die mediale Gelenkfläche die Gelenkschraube der Tibia ergänzt, eine Synovial- und eine Bandgrube aufweist. Diese Gelenkfläche läuft in einen keilförmigen Fortsatz aus, der unter dem lateralen Rollkamm des Talus in einer entsprechenden Rinne desselben verläuft und leicht nach innen gekrümmt ist. Diese Einrichtung gewährleistet eine äußerst feste Verbindung von Tibia und Talus; sie ist so fest, daß auch nach der Durchschneidung sämtlicher, die beiden gelenkenden Knochen verbindender Bänder die Rolle aus ihrer Verbindung mit der Tibia nur sehr schwer zu lösen ist.

Von den beiden Auskehlungen der Tibia ist die mediale stärker gekrümmt als die laterale. Der Bogenwert der medialen Auskehlung beträgt 123° bei einem Krümmungsradius von 1,85 cm, gegenüber 111° und 2,15 cm der lateralen Auskehlung. Dorsal läuft der Kamm zwischen den beiden Auskehlungen in einen stumpfen Fortsatz aus, der zwischen den Rollkämmen des Talus gleitet. Fast den ganzen Kamm bedeckt eine Synovialgrube, sodaß sich hier überhaupt kein Gelenkknorpel findet; diese Synovialfläche zieht sich auch in einer Breite von etwa 1,5 cm bis zum tiefsten Punkt der lateralen Auskehlung herunter.

Die ganze Gelenkfläche ist mit Ausnahme der vorerwähnten Teile vollständig mit einem Gelenkknorpelüberzug versehen. Seine Stärke wechselt zwischen 0,2 und 0,7 mm. Am stärksten ist er an den Seitenflächen der beiden Auskehlungen, wo er im Mittel 0,6 mm beträgt. Wesentlich schwächer ist er in den Auskehlungen selber; der Mittelwert für die laterale Auskehlung beträgt 0,3 mm, derjenige für die mediale 0,4 mm. Am Kamme betragen die Werte für die Seitenflächen 0,3 mm, für den First 0,2 mm. Bezüglich der ganzen Fläche ist zu sagen, daß die Knorpelstärke gegen den vorderen Rand im allgemeinen zunimmt.

Der Talus, das Sprungbein (Abb. II), der den zweiten Teil des Talo-Cruralgelenkes bildet, zeigt an seinem von der Tibia umfaßten Ende deutlich die Form eines Teiles einer Schraube mit zwei teilweise vorhandenen Schraubenwindungen, den sogenannten Rollkämmen (Abb. II, 1 u. 2), zwischen denen die Rollfurche, die distal in eine Rollgrube ausläuft, liegt. Die Rollfurche ist fast in ihrer ganzen Ausdehnung von einer Synovialgrube bedeckt, die sich auch auf die Mitte des lateralen Rollkammes erstreckt.

Von der proximalen Gelenkschraube nur durch einen rauhen Streifen getrennt, trägt das Rollbein distal von dieser eine ebenfalls stark gewölbte Gelenkrolle für das Os centrotarsale, die plantar in die ebenfalls ziemlich stark gewölbte Gelenkfläche für das Fersenbein (Abb. II, 5) übergeht. Die Kämme der distalen Rolle (Abb. II, 3 u. 4) sind nicht so deutlich abgesetzt wie die der proximalen und sind stärker abgerundet. An der Uebergangsstelle zu der Gelenkfläche des Fersenbeins befindet sich eine rauhe Stelle und eine Vertiefung zum Ansatz eines Bandes.

An der lateralen Rollbeinfläche, die nach Martin (9) eine S-förmige Vertiefung besitzt, finden sich neben der schon erwähnten rinnenförmigen Gelenkfläche für das Os malleolare noch drei weitere Gelenkflächen für das Fersenbein; nämlich einmal eine distal gelegene, etwa halbkreisförmige (Abb. II, 6), dann eine proximale, fingerbreit davon entfernte von der Form eines Trapezes mit konkaver Fläche und endlich eine kleine, scharf abgesetzte distal vom lateralen Rollkamm. Eine rauhe Vertiefung zwischen diesen Gelenkflächen entspricht dem Sulcus tali beim Pferde und bildet mit einer entsprechenden Vertiefung des Fersenbeins den Sinus tarsi.

Die Form der medialen Rollbeinfläche ist unregelmäßig und rauh; sie trägt proximal einen Bandhöcker, distal eine Bandgrube, an der sich verschiedene Bänder ansetzen.

Um die Krümmungsradien der Rollkämme und Furchen bestimmen zu können, mußten Sagittalschnitte senkrecht zur Krümmungsachse angefertigt werden. An den erhaltenen Schnittlinien erscheint die Krümmung der beiden Rollkämme etwa kreisförmig; die Darstellung der Evoluten zeigen Abb. IIIa u. Abb. IIIb. Die Evolute ist die Kurve, welche die Krümmungsmittelpunkte aller Oberflächenstrecken verbindet. Der laterale Rollkamm, der einen Bogenwert von 148 Grad hat, hat einen Krümmungsradius von 2,8 cm, der bis zu einem Bogenwert von 80 Grad konstant bleibt, während eine distale Einrollung vom Bogenwerte 69 Grad einen Krümmungsradius von 2,5 cm aufweist. Der mediale Rollkamm hat bei einem Bogenwert von insgesamt 147 Grad proximal eine Einrollung mit dem Radius 2,3 cm und dem Bogenwert 104 Grad, während der restliche Bogenwert von 43 Grad einen Radius von 2,5 cm aufweist. Der Bogenwert der Rollfurche beträgt 145 Grad,

ihr Krümmungsradius konnte wegen der vorhandenen Synovialgrube mit etwa 1,2 cm nur ungenau festgelegt werden.

Die Gelenkfläche des Rollbeins mit dem Fersenbein (Abb. II, 5), in der Form eines Rechteckes mit einer Seitenlänge von 2 mal 3 cm, ist in sagittaler Richtung konvex, in horizontaler leicht konkav. Auf Sagittalschnitten ergibt sich bei einem Bogenwert von 75 Grad ein Radius von 3,2 cm. Abb. IV bringt die Darstellung der Evolute eines Sagittalschnittes. Am proximalen Ende wird sie von einer fast senkrecht zu ihr stehenden Anstoßfacette für das Fersenbein abgeschlossen (Abb. II, 7 u. 8).

An der distalen Rolle haben die beiden Rollkämme (Abb. II, 3 u. 4) den näherungsweise gleichen Radius von 2 cm (genau r = 1,99 für den medialen, r = 1,92 für den lateralen Kamm). Der laterale Rollkamm hat den Gesamtbogenwert von 150 Grad; davon zeigen die plantaren 59 Grad eine Aufrollung mit dem Radius 2,86 (Abb. VI). Der mediale Rollkamm hat den größten Bogenwert von allen, nämlich 198 Grad, wovon plantar etwa 40 Grad mit dem Radius 2,3 aufgerollt sind (Abb. V). Der Bogenwert der Rollfurche beträgt 160 Grad bei einem Radius von 1,36 cm.

Die Gelenkknorpelstärken an den verschiedenen Gelenkflächen des Talus sind sehr verschieden. Meine diesbezüglichen Messungen stimmen mit den Angaben von Seidel (11), der die Gelenkknorpelstärken an sämtlichen Gelenken beim Rinde untersuchte, im wesentlichen überein. Genauere Vergleichsmöglichkeiten sind deshalb nicht gegeben, weil Seidel für je eine Gelenkfläche jeweils nur einen Mittelwert angibt.

Die Stärke des hyalinen Knorpels an der proxymalen Rolle schwankt nach meinen Messungen zwischen 0,2 und 0,8 mm. Seine größte Dicke erreicht er auf der Höhe und den Seitenflächen des lateralen Kammes, wo er im Mittel 0,7 mm beträgt; an den entsprechenden Flächen des medialen Kammes ergaben die Messungen 0,6 mm. Am schwächsten ist der Knorpel in der Furche zwischen den beiden Kämmen, wo er im Mittel 0,3 mm beträgt. Aus allen gemachten Messungen geht ferner deutlich hervor, daß die Knorpelstärke an der ganzen Rolle proximal und distal wesentlich stärker ist als in der Mitte.

Den geringsten Schwankungen ist die Stärke des Knorpels an der Calcaneusfläche des Talus unterworfen; die geringste Dicke beträgt 0,2, die größte 0,5, der Mittelwert 0,4 mm. Auch an dieser Gelenkfläche bestätigt sich die schon oben angegebene Beobachtung, daß der Knorpel proximal und distal dicker ist als in der Mitte.

An der distalen Rolle ist die Stärke des Knorpels durchschnittlich größer als an der proximalen. Sie beläuft sich auf dem First und den Seitenflächen des lateralen Kammes auf 0,8 mm, an den entsprechenden Flächen des medialen auf 0,7 mm. In der Furche zwischen den beiden Kämmen beträgt sie 0,6 mm im Mittel. Wie an den anderen beiden

Gelenkflächen ist auch an der unteren Rolle der Knorpel proximal und distal stärker als in der Mitte.

Das Talo-Calcanealgelenk wird gebildet von dem oben beschriebenen Talus und dem Calcaneus. Der Calcaneus (Abb. VII), das Fersenbein, liegt lateral und plantar vom Talus und ist bedeutend länger und schlanker in der Form als beim Pferde. Das Sustentaculum tali (Abb. VII, 2), der kurze mediale Fortsatz des Fersenbeins, dient an seiner proximalen Fläche als Gleitunterlage für den tiefen Beuger und hat zu diesem Zwecke dort eine mit Knorpel überzogene Gleitfläche, während es an seiner distalen Seite eine Gelenkfläche für den Talus mit dem Bogenwert von 50 Grad und einem Radius von 3,25 cm (Abb. VII, 5) trägt. Die mediale Fläche des Calcaneuskörpers ist ganz leicht ausgehöhlt und trägt zwei Gelenkflächen, die mit dem Rollbein artikulieren (Abb. VII, 5′ u. 5″). Eine rauhe vertiefte Stelle zwischen den beiden Gelenkflächen, der Sulcus tali (Abb. VII, 6), trägt zur Bildung des Sinus tarsi bei. Der Processus cochlearis (Abb. VII, 3), ein nach lateral gerichteter Gelenkfortsatz, besitzt dorsal eine Gelenkfläche mit dem Os malleolare (Abb. VII, 4). Zur Verbindung mit dem Centrotarsale findet sich am Corpus calcanei eine weitere Gelenkfläche, die plantar gelegen ist (Abb. VII, 7).

Die Stärke des Gelenkknorpels der Rollbeinfläche des Calcaneus schwankt in den Grenzen von 0,2—0,5 mm und beträgt 0,4 mm im Mittel. Den dicksten Knorpelüberzug trägt die Gleitfläche des tiefen Beugers am sustentaculum tali, wo als größte Dicke 1,1 mm, als Durchschnittswert 0,9 mm gemessen wurden.

Das Talo-Centrotarsalgelenk wird gebildet von der distalen Rolle des Talus einerseits und dem Os centrotarsale (Abb. VIII) andererseits. Das Os centrotarsale stellt die Verschmelzung des Os tarsale quartum und des Os centrale dar. Der laterale Abschnitt dieses Knochens ist rechtwinklig nach distal so abgebogen, daß er sich in die distale Fußknochenreihe vorschiebt (Abb. VIII, 5), während der mediale in einen nach proximal gerichteten, spitz gewinkelten Fortsatz ausläuft, der mit der Plantarseite des Rollbeins gelenkt (Abb. VIII, 4). Die proximale Fläche trägt die doppelt vertiefte Gelenkfläche für das Rollbein. Der Bogenwert der lateralen Gelenkfläche (Abb. VIII, 2 u. 2′) beträgt 117 Grad und ihr Radius 1,92 cm, der der medialen 140 Grad mit einem Radius von 2 cm (Abb. VIII, 1). Der Kamm zwischen den beiden Furchen hat einen Bogenwert von 130 Grad bei einem Radius von 1,5 cm. Auf dem hinteren Drittel der proximalen Gelenkfläche breitet sich eine umfangreiche Synovialgrube aus. Lateral am Centrotarsale befindet sich die dorsoplantar verlaufende, proximal gerichtete, leicht gewölbte Gelenkfläche für das Fersenbein (Abb. VIII, 3). Die distale Fläche des Centrotarsale gelenkt in ihren lateralen, nach distal gerichteten Abschnitt mit dem Metatarsus 4, im medialen Abschnitt mit dem Tarsale 1 und Tarsale (2 u. 3).

Die Gelenkknorpelstärke am Centrotarsale schwankt zwischen 0,1 und 0,7 mm, bei einem Mittelwert von 0,4 mm. Am stärksten ist der Knorpel dorsal, während er in plantarer Richtung allmählich immer mehr an Stärke abnimmt, sodaß man hier im plantaren Teil der Gelenkfläche auch den geringsten Wert von 0,1 mm findet.

Die Tarsalia 2 und 3 gestalten zusammen einen flachen Knochen von fast viereckiger Gestalt, der zusammen mit Tarsale 1 den Raum zwischen dem medialen Teil des Os centrotarsale und dem Metatarsus ausfüllt. Zur Verbindung mit den beiden vorgenannten Knochen hat er an seiner proximalen und an seiner distalen Seite je eine Gelenkfläche. Tarsale (2 u. 3), Centrotarsale und der Metatarsus bilden zusammen einen kleinen Kanal, in dem die Arteria metatarsea dorsalis lateralis verläuft.

Der Knorpelüberzug an den Gelenkflächen des Tarsale (2 u. 3) ist entsprechend der Tatsache, daß es mit seinen Nachbarknochen praktisch straffgelenkig verbunden ist, sehr dünn und beträgt im Mittel 0,2 mm.

Das Tarsale 1 liegt plantar von dem vorigen und besitzt eine Gelenkfläche für das Os tarsale 2 und für das Centrotarsale. Martin (9) gibt an, daß sich medial von ihm ein kleines Sesambein befindet. Ich fand dasselbe in fünf Fällen, bei zwei Gelenken fand ich es nicht mehr. Der Knorpelüberzug an den Gelenkflächen ist ebenfalls sehr dünn und beträgt 0,2 mm im Mittel.

2. Die Gelenkkapsel:

Alle Gelenkflächen der vorgenannten drei Teilgelenke sind umhüllt von einer gemeinsamen Gelenkkapsel, die gebildet wird von einem proximalen, einem plantaren und einem distalen Sack. Die drei Säcke haben untereinander eine Verbindung, die, wie schon Martin (9) angibt, von dem proximalen Sack in den plantaren und von da in den distalen führt. Martin gibt nun an, die gemeinsame Verbindung der drei Säcke „liege außen“. Auf Grund meiner diesbezüglichen Untersuchungen kann ich diese Angabe nur zum Teil bestätigen. Nach meinen Feststellungen an Hand von sieben Gelenken liegt die Verbindung des proximalen Sackes mit dem plantaren proximal und plantar zwischen der lateralen und medialen Anstoßfacette des Rollbeins. Die Verbindung des plantaren und des distalen dagegen liegt direkt unter dem medialen langen Seitenband, also nicht außen (siehe auch unten!).

Der proximale Gelenksack, also der des Talo-Cruralgelenkes, ist ein sehr schlaffer Schlauch, dessen Fasern nur an der Seite etwas straffer gespannt sind. Die Richtung der Fasern ist keine parallele, sondern sie steigen teils schräg nach lateral, teils schräg nach medial ab. Besonders dünn ist dieser Sack auf der Vorderseite, wo ihm auch reichlich Fett eingelagert ist. Bei der Herausnahme des Fettes, das überall zwi-

schen den Fasern liegt, läuft man Gefahr, die Kapselhöhe zu eröffnen. Der proximale Sack entspringt am Distalende der Tibia und zwar dorsal etwa ½ cm proximal von der Knorpel—Knochengrenze entfernt; er zieht herunter auf die dorsale Fläche der Rolle und heftet sich an dem schmalen knorpelfreien Streifen, der die proximale und distale Rolle auf der Vorderseite trennt, an. Plantar entspringt er ebenfalls etwa ½—1 cm von der Knorpel—Knochengrenze der Tibia und erstreckt sich bis zu den plantar gelegenen Anstoßfacetten des lateralen und medialen Rollkammes. Zwischen beiden letzteren liegt auch die Verbindung von proximalem und plantarem Sack; diese Verbindung ist etwa für zwei Finger durchgängig. An den Seiten geht die Kapsel jeweils in die langen und kurzen Seitenbänder über.

Der plantare Sack, also der des Talo-Calcanealgelenks, ist der geräumigste von den dreien; sein Volumen ist etwa ebenso groß wie das der beiden anderen Säcke zusammen. Auch seine Wand ist stärker als die der beiden anderen Kapselabschnitte; ein straff-faserig verdickter Abschnitt auf der Plantarseite dient als Gleitunterlage für die tiefe Beugesehne. Die proximale Begrenzung bildet der proximale Sack, während sich plantar die Fasern dorsal und lateral am corpus calcanei festsetzen.

Der distale Kapselabschnitt, der des Talo—Centrotarsalgelenkes ist ziemlich stark und seine Faserzüge überkreuzen sich. Auf der dorsalen Seite wird er in der Hauptsache von dem ligamentum talo-centrotarsale dorsale capsulare (siehe auch Bandapparat!), das ganz als eine sehr kräftige Verstärkung der Kapsel aufgefaßt werden kann, gebildet. Die seitliche Begrenzung bilden die Ausläufer der langen medialen und lateralen Seitenbänder. Auf der plantaren Fläche wird dieser Teil der Kapsel gebildet besonders von den Ligg. tarsi plantare und calcaneocentrotarsale plantare. Der distale Sack steht mit dem plantaren auf der medialen Seite durch eine gut kleinfingerdicke Lücke in der beide Säcke trennenden Wand in Verbindung. Diese Verbindung liegt direkt unter dem medialen langen Seitenband.

Von einer Gelenkkapsel, die die anderen Knochen des Tarsus umgibt, kann aus dem Grunde nicht gesprochen werden, weil zwischen diesen Knochen praktisch eine Gelenkung nicht besteht, im Gegenteil habe ich sie bei drei älteren Gelenken miteinander knöchern verbunden gefunden. Daher besteht auch die Gelenkkapsel nur als eine faserige, mit den zahlreichen Längs- und Querbändern verbundene und mit der Unterlage fest verwachsene Platte.

Zur **Bestimmung des Volumens** der Gelenkkapsel wurden verschiedene Gelenke verwendet, deren Gelenkkapseln vollkommen erhalten waren. Die Technik der Bestimmung des von der Kapsel umschlossenen Gelenkraumes wurde bereits oben erläutert (Seite —). Ich

fand ein durchschnittliches Volumen für alle drei miteinander in Verbindung stehenden Synovialsäcke von

40 cm³.

Das geringste Volumen stellte ich fest bei einem 2jährigen Rinde mit 38 ccm, das größte bei einem 8jährigen Ochsen mit 44 ccm.

3. Der Bandapparat:

Wir müssen beim Bandapparat des Sprunggelenkes unterscheiden zwischen gemeinsamen und besonderen Bändern. Zu den ersteren können gerechnet werden außer der oben besprochenen Gelenkkapsel die folgenden Bänder, deren Benennung ich entnommen habe aus Martin (9), in Analogie zu den Benennungen der Bänder des Sprunggelenks beim Pferd. Es sind dies im Ganzen sechs gemeinsame Bänder.

a) Die gemeinsamen Bänder.

1. Das lig. collaterale fibulare longum:

Das lange, laterale Seitenband stellt einen runden, strickartig gewundenen Bandzug dar. Die Drehung der Fasern findet in der Weise statt, daß die Bandfasern die hinten und oben entspringen, nach vorn und unten verlaufen, während die vorn und oben entspringenden nach hinten und unten ziehen. Das Band entspringt am hinteren Teil des Os malleolare und verbreitert sich nach unten, wo es sich an der lateralen und dorsalen Fläche des Fersenbeinfortsatzes, mit einem anderen Schenkel am Centrotarsale und lateral am proximalen Ende des Metatarsus inseriert. Böltz (1) Angabe, es setze sich auch an der Rolle fest, kann ich in keinem Falle bestätigen.

Im Gegensatz zu Böltz, der dieses Band wie auch das entsprechende der anderen Seite nur bei Streckstellung gespannt fand, fand ich es bei der Beugestellung kaum weniger gespannt als in Streckstellung. Diese Beobachtung erklärt sich daraus, daß die Hauptinsertionspunkte sowohl des lateralen als auch des medialen langen Bandes am Tarsus fast genau mit der gemeinsamen Sprunggelenksachse zusammenfallen. Die beiden Bänder dienen zur Festigung des Gelenkes und stellen somit den Hauptteil des Gelenkschlusses dar.

2. Das lig. collaterale fibulare breve:

Das kurze laterale Seitenband zieht unter dem langen Band dieser Seite vom vorderen Teil des Os malleolare zum corpus calcanei, wo es sich außen festsetzt. Auch dieses Band zeigt eine Spiraldrehung. — Die Angabe von Ellenberger-Baum (2), dieses Band ende nur an der Rolle, hat schon Böltz (1) bestritten. Auch ich fand es überhaupt nicht an der Rolle sich ansetzen.

3. Das lig. collaterale tibiale longum (Abb. IX, 1):

Das lange mediale Seitenband stellt einen äußerst kräftigen Bandzug dar, der in derselben Weise gedreht ist wie der entsprechende der

anderen Seite. An seinen Ansatzstellen ist das Band flach und breit, während es in der Mitte mehr rundlich ist. Es nimmt Ursprung am mittleren und vorderen Teil des malleolus medialis und zieht an die mediale Fläche des Fortsatzes des Centrotarsale und an das Fersenbein in fächerartiger Ausbreitung. Seine tiefen Schichten laufen aus am Tarsale (2 u. 3) und am Tarsale 1. Böltz (1) hat es an der Rolle sich ansetzen gefunden, eine Angabe, die ich nicht bestätigen kann.

4. Das lig. collaterale tibiale breve (Abb. IX, 2):

Das innere kurze Seitenband ist ein ziemlich flaches Band, das von dem darüberliegenden langen Band fast gänzlich überdeckt wird. Es beginnt am Distalende des malleolus medialis und läuft mit einem Schenkel zum medialen Fortsatz des Fersenbeins, mit dem andern zum Fortsatz des Centrotarsale, wo es jeweils mit den Fasern des lig. tibiale longum verschmitzt. Böltz (1) Angabe, es ende mit einer seiner Schenkel medial an der Rolle, fand ich nicht bestätigt.

5. Das lig. tarsi plantare:

Es zieht sich als langes, sehr starkes Band von der Beule des Fersenbeines zur Plantarfläche des proximalen Endes des Metatarsus. In seinem unteren Verlauf verbreitert es sich und verbindet Centrotarsale mit Tarsale 1 und Metatarsus. Auf seinem ganzen Verlauf ist es fest mit dem Knochen verwachsen und füllt die Lücken zwischen den einzelnen Knochen aus.

Dieses Band ist besonders wichtig für die feste Fügung des Sprunggelenkes in der Längsrichtung; seine Dehnung veranlaßt eine leichte Knickung der plantaren Umrißlinie des Gelenkes.

6. Das lig. tarsi dorsale (Abb. IX, 3):

Während sich bei Martin (9) die Angabe findet, dieses Band fehle beim Rind oder sei sehr schwach, fanden es Ellenberger-Baum (2) und Böltz (1) vor. Ich selbst fand es in allen Fällen als ziemlich dünne, sehnige Platte, die von der medialen Fläche der Rolle ausgehend sich in zwei Schichten teilt. Dabei verläuft die obere fächerartig zum Centrotarsale und endet lateral am proximalen Ende des Metatarsus, während die tiefere Schicht über das Centrotarsale zum Tarsale 1 und dorsal zum Metatarsus zieht.

b) Die besonderen Längsbänder:

Für diese Bänder fand ich in der gesamten mir zugänglich gewesenen Literatur keine Benennungen und deshalb machte ich den Versuch einer Benennung der einzelnen Bänder nach ihrem Verlauf zwischen den durch sie verbundenen Knochen, nach ihrer Länge oder nach ihrer Lage. Die im Folgenden gebrauchten Bezeichnungen sind die von mir vorgeschlagenen.

1. Das lig. calcaneo-centrotarsale plantare:

Unter dem lig. tarsi plantare verläuft etwas medial von diesem ein kräftiges, etwa 1,5 cm breites Band. Es entspringt plantar am Distalende des corpus calcanei und zieht zum medialen Teil der Plantarfläche des Centrotarsale. Das Band kann hinsichtlich seiner Funktion als Verstärkung des lig. tarsi plantare zwischen dem Calcaneus und Centrotarsale aufgefaßt werden.

2. Das lig. calcaneo-metatarsale laterale:

Dieses Band entspringt am Distalende des lateralen Fortsatzes des Calcaneus. Es teilt sich in zwei Schenkel auf, von denen der längere und kräftigere dorsal vom lateralen Bandhöcker des Metatarsus endet; der kleinere, eng mit der Kapsel verschmolzene Schenkel zieht in distaler und dorsaler Richtung und endet an der lateralen und dorsalen Fläche des Centrotarsale.

3. Das lig. centrotarsale-metatarsale mediale:

Ein breites flaches Band an der medialen Seite verbindet das Centrotarsale mit dem Metatarsus. Auf seinem Verlaufe setzt es sich mit kurzen Bandzügen an Tarsale 1 und dem Tarsale (2 u. 3) fest.

4. Das lig. talo-centrotarsale dorsale capsulare:

An dem die proximale und distale Rolle trennenden schmalen Streifen entspringt ein breites, dünnes Band, das aber aus kräftigen Fasern besteht und ganz mit der Kapsel verschmolzen ist. Es zieht, indem es sich verschmälert, zum Centrotarsale, an dessen dorsaler und lateraler Fläche es sich inseriert.

c) Die Querbänder:

Auch für die Querbänder machte ich aus dem vorhin dargelegten Grund den Versuch einer Benennung. Nur die beiden ersten Bänder sind angelehnt an die Benennungen in Fick (3), Lehrbuch der Anatomie des Menschen. Während jedoch in der humanmedizinischen Anatomie der entsprechenden Bänder eine Unterscheidung in vordere und hintere notwendig ist, fällt diese Notwendigkeit beim Rinde fort, weil die jeweiligen Bänder nur in der Einzahl vorhanden sind.

1. Das lig. talo-fibulare (Abb. IX, 7):

Nach Fick (3) das lig. fibulo-talare posterius, das laterale Band zwischen Talus und dem Malleolus lateralis. Es entspringt an der Anstoßfacette am proximalen Ende des lateralen Rollkammes der proximalen Rolle und zieht sich als etwa 1,5 cm breites, kräftiges Band zur hinteren Kante des Malleolus lateralis, wo es sich unter dem lig. collaterale fibulare longum festsetzt.

2. Das lig. talo-tibiale longum (Abb. IX, 4):
entspricht beim Rinde dem medialen Bande zwischen talus und tibia, nach Fick (3) das lig. tibio-talare posterius. Es zieht von der Anstoßfacette des medialen Rollkammes der proximalen Rolle, unter dem lig. tibiale longum hindurchkreuzend zur hinteren Kante des malleolus medialis, wo es sich als 2 cm breites, starkes Band inseriert.

Die unter 1. und 2. genannten Bänder haben zusammen mit dem unter 5. genannten Bande die Aufgabe, eine Rotation des Talus um seine eigene Längsachse zu verhüten.

3. Das lig. talo-tibiale breve (Abb. IX, 5):

Dicht proximal von dem letzteren entspringt an der medialen Seite des medialen Rollkammes ein knapp bleistiftstarkes, rundes Band und zieht in proximaler und dorsaler Richtung zur Tibia, wo es sich am distalen Ende der laterialen Seite derselben ansetzt. Das Band ist mit der Kapsel eng verbunden.

4. Das lig. talo-tibiale plantare capsulare (Abb. IX, 6):

Ein anderes, der Kapsel vollständig eingewobenes Band entspringt ebenfalls am Bandhöcker des lateralen Rollkammes als 1 cm breites, dünnes Band und zieht mit dem vorgenannten Bande einen spitzen Winkel bildend in proximaler und lateraler Richtung an das plantare Ende des Kammes zwischen der lateralen und medialen Auskehlung der Tibia. Das Band ist zwar vollkommen mit der Kapsel verwachsen, tritt aber als solches deutlich hervor.

5. Das lig. tali laterale internum:

Dicht unterhalb der Gelenkfläche des Calcaneus mit der des Malleolus medialis setzt sich ein ganz kurzes, aber sehr festes Band an und zieht zum Talus, wo es sich lateral, an dem obere und untere Rolle trennenden schmalen Streifen festsetzt.

6. Das lig. calcaneo-centrotarsale laterale:

Ein sehr breites, kurzes und kräftiges Band verbindet den medialen Fortsatz des Calcaneus und die hintere Kante des Fortsatzes vom Centrotarsale; dieses Band bildet die Gleitfläche für die Sehne des m. flexor halucis pedis longus.

III. Kinematik.

Allgemeines über Bewegung in Schraubengelenken:

Fick (3) in seiner „Anatomie und Mechanik der Gelenke“ sagt über die Bewegung in Schraubengelenken kurz zusammengefaßt etwa das Folgende:

Charakteristisch für die Schraubenbewegung ist der Umstand, daß mit einer Drehung um die Achse der Schraube gleichzeitig eine fortschreitende Bewegung entlang dieser Achse erfolgt. Wenn man eine Schraube unter Ausübung eines Druckes auf die Unterlage um ihre Achse dreht, so dreht man (geeignetes Material vorausgesetzt) den Schraubenkörper oder die Schraubenspindel in der Richtung der Achse der Schraube in die Unterlage hinein. Das ist ein Beweis dafür, daß mit der reinen Drehung eine „längs der Achse — Verschiebung" verbunden ist. Es ist derselbe Vorgang, den man beim Begehen einer Wendeltreppe macht, wo man auf- oder abwärts gelangt unter gleichzeitigem Herumgehen um die Achse der Treppe. Nun kennt man rechts- und linksgewundene Schrauben. Rechtsgewunden ist eine Schraube dann, wenn man die Hand im Sinne des Uhrzeigers drehen muß, um die Schraube einschrauben zu können. Linksgewunden, wenn man die Hand entgegen dem Uhrzeigersinn drehen muß.

Wenn es sich bei der Schraubenbewegung auch um eine Bewegung im doppelten Sinne, um eine Bewegung längs der Achse sowohl als um eine Drehung handelt, so gewährt diese Art der Bewegung doch nur eine Bewegungsfreiheit ersten Grades, denn jeder Punkt des Körpers muß sich auf einer vorgeschriebenen Bahn bewegen, d. h. er kann von seiner Schraubenlinie nicht abweichen.

Langer (8) hat im Jahre 1852, wie schon im Literaturreferat dargelegt wurde, als erster die Schraubennatur des Sprunggelenks der Säugetiere erkannt und beschrieben und seine Angaben hat 1876 Pütz (10) in bezug auf das Pferd und das Rind nachgeprüft. In den Jahren 1904 bzw. 1913 erschienen von Fick (3) und Strasser (13) Bearbeitungen des Sprunggelenkes des Menschen. In neuerer Zeit, im Jahre 1923, untersuchte A. O. Stoß (14) im Rahmen einer größeren Arbeit über Anatomie und Kinematik der Pferdeextremitäten das Sprunggelenk des Pferdes.

Langer (8) hat nicht so sehr mit genauen Messungen als mit ungefähren Schätzungen gearbeitet, daher kommt es auch, daß wir bei ihm keine Aufzeichnungen finden über Ganghöhen und Ganglinien. Er schloß auch aus der Verschiedenheit der Radien der beiden Rollkämme, daß der Grundgestalt der oberen Rolle nicht ein Zylinder, sondern ein Kegel mit nach innen gerichteter Spitze zu Grunde liegen müsse.

Pütz (10) wies nach, daß nur bei den Wiederkäuern und beim Schwein die Rollkämme nach verschiedenen Radien gekrümmt sind. Wir finden bei ihm die erste Bestimmung der Neigungswinkel und zwar durch Anlegen einer Tangente an den Rollenkamm und Bestimmung ihrer Winkelung. Beim Rinde fand er so Neigungswinkel von 0° bis 4,5° (mittlerer Wert 3°).

A. O. Stoß (14) überprüfte die Angaben von Pütz (10) in bezug auf das Pferd und besonders die Methode der Bestimmung der Nei-

gungswinkel, und kam dabei zu dem Ergebnis, daß diese Methode deshalb nicht einwandfrei ist, weil der Rollenkamm in der Projektion keine Gerade darstellt. A. O. Stoß (14) gibt dann eine neue Methode zur Bestimmung der Neigungswinkel an und bestimmt den Neigungswinkel an dem durch Aufrollung eines Schraubenganges gewonnenen Dreieck.

Ich folgte dem von A. O. Stoß angegebenen Prinzip der Aufrollung und erhielt bei den fünf untersuchten Rollbeinen das folgende Ergebnis:

Alter und Geschlecht	Neigungswinkel des lat. Rollk.	med. Rollk.
1. Ochse, 3 Jahre	2° 32′	3° 13′
2. Kuh, 4 Jahre	2° 35′	3° 14′
3. Kuh, 5 Jahre	2° 22′	3° 08′
4. Kuh, 7 Jahre	2° 36′	3° 20′
5. Ochse, ca. 9 Jahre	2° 16′	2° 50′

Somit ergibt sich als Mittelwert für den Neigungswinkel des lateralen Rollkammes 2° 28′, für den des medialen 3° 09′. Aus der vorstehenden Aufstellung geht ferner hervor, daß der Neigungswinkel bei den zur Untersuchung gekommenen Rollbeinen ziemlich konstant ist, und daß der des lateralen Rollkammes um rund 40′ hinter dem des medialen zurückbleibt. Die Schraubengänge sind an der linken Extremität nach rechts, an der rechten nach links herum gewunden.

Die Achse des Talo-Cruralgelenkes fällt leicht nach medial ab und bildet mit der mechanischen Längsachse einen Winkel von rund 88°.

Welche Grundgestalt hat nun der Körper, der der Schraube des Talo-Cruralgelenkes zu Grunde liegt? Bei den verschiedenen Autoren finden wir zum Teil stark voneinander abweichende Antworten auf diese Frage.

Langer (8): Beim Pferde scheint die Grundgestalt der Rolle ein Zylinder zu sein, doch bei den meisten anderen Tieren zeigt die Rolle innen einen geringeren Umfang als außen, so daß die Rolle in ihrer Grundgestalt eine konische Form mit nach innen gerichteter Spitze annimmt (also eine Kegelschraube darstellt!).

Henke (6): Der Beweis Langer's (8) für das Vorliegen einer Schraube mit einem Kegel als Grundgestalt sei deswegen falsch, weil er sich darauf stütze, daß die äußere Peripherie der Rolle größer ist als die innere. Das könne aber ebensogut der Fall sein bei einer Schraube, deren Gänge auf zwei verschieden weiten Zylindern um dieselbe Achse gedreht seien. Ferner sei in einem Kegelschraubengelenk eine Bewegung deshalb nicht möglich, weil die einzelnen Teile desselben nicht kongruent seien. Pütz (10) und später auch Böltz (1) schließen sich dieser Meinung an.

Nun hätte Henke (6) theoretisch zweifellos recht, denn zu einer streng mathematisch gebauten Kegelschraube ist keine Schraubenmutter denkbar, die ein Ein- und Ausschrauben gestattet, was aber wohl in einer sogenannten Doppelzylinderschraube möglich ist. Praktisch wird dieser Einwand wohl nicht stichhaltig sein, denn wir haben es hier nie wie in der Technik mit streng mathematisch gebauten Körpern zu tun. Kongruent im rein mathematischen Sinne sind die zusammengehörigen Gelenkteile nie. Ferner haben wir ja nicht mit dem starren unnachgiebigen Material der Technik zu rechnen, sondern alle die Gelenkflächen sind von Knorpel überkleidet. Die Nachgiebigkeit von Knorpel auf Druck oder Zug ist so bedeutend, daß trotz einer bestehenden Inkongruenz im rein mathematischen Sinne, eine Bewegung wohl denkbar wäre, umsomehr, wenn man daran denkt, daß es sich ja nur um einen Teil eines Schraubenumganges handelt.

Somit scheint mir keine der gegensätzlichen Behauptungen durch einen lückenlosen Beweis gestützt zu sein. Vor allen Dingen gibt keiner der Autoren eine Erklärung über das Verhältnis der beiden Rollkämme zueinander ab und dieses Verhältnis kann doch allein Aufschluß geben über den zu Grunde liegenden Körper. Soweit überhaupt von einem Neigungswinkel gesprochen wird, und das ist der Fall nur bei Pütz (10), so ist immer nur die Rede von einem Neigungswinkel der proximalen Rollkämme. Von einem Neigungswinkel der beiden Rollkämme kann aber, wie die obige Zusammenstellung eindeutig beweist, keine Rede sein, d. h. dies gilt für die proximale Rolle; an der distalen liegen die Verhältnisse, wie spätere Erörterungen zeigen sollen, anders.

Wenn nun Langer (8) recht hat, so muß diese Kegelschraube zunächst das Grundgesetz der allgemeinen Schraubenlinie erfüllen, nämlich die Neigungswinkel der den fraglichen Körper umwickelnden Geraden müssen gleich sein.

Handelt es sich aber um eine sogenannte Doppelzylinderschraube, so muß der Definition der Doppelzylinderschraube genügt werden, welche folgendermaßen lautet: Die Doppelzylinderschraube wird gebildet von einem System von zwei Zylindern mit gemeinsamer Achse und verschiedenen Radien; dabei sind die beiden um je einen Zylinder gelegten Schraubenlinien derart miteinander verbunden, daß ihre Ganghöhe gleich ist und ihre Neigungswinkel umgekehrt proportional sind zu den Zylinderradien. Wenn also Henke's (6) Meinung richtig ist, so hat die Doppelzylinderschraube die eben erwähnten Forderungen der Ganghöhengleichheit und der umgekehrten Proportionalität der Neigungswinkel zu den Radien zu erfüllen.

Ueber die Verhältnisse im vorliegenden Falle gibt wohl am besten die nachfolgende tabellarische Zusammenstellung Klarheit:

	Neigungswinkel lat.	Neigungswinkel med.	Radius in cm lat.	Radius in cm med.	Ganghöhe in cm lat.	Ganghöhe in cm med.
1. Ochse, 3 J.	2° 32′	3° 13′	2,50	2,10	0,68	0,69
2. Kuh, 4 J.	2° 35′	3° 14′	2,30	1,95	0,63	0,64
3. Kuh, 5 J.	2° 22′	3° 08′	2,80	2,30	0,74	0,76
4. Kuh, 7 J.	2° 36′	3° 20′	2,70	2,15	0,77	0,77
5. Ochse, 9 J.	2° 16′	2° 50′	2,85	2,35	0,72	0,71
Mittelwerte:	2° 28′	3° 09′	2,63	2,17	0,71	0,71

Bei der kritischen Betrachtung dieser Tabelle zeigt es sich sofort, daß eine Kegelschraube, wie sie Langer (8) annimmt, infolge der Verschiedenheit der entsprechenden Neigungswinkel niemals in Frage kommt. Andererseits läßt sich eine einfache Zylinderschraube wegen der Verschiedenheit der Radien bzw. der zusammengehörigen Neigungswinkel ebenso ausschließen. Dagegen gibt uns die Tabelle mit aller Deutlichkeit den Hinweis auf die

Doppelzylinderschraube.

Die Nachprüfung an Hand der am Schluß gebrachten Angabe der Mittelwerte ergibt folgendes: Die Ganghöhe beträgt lateral wie medial 0,71 cm und damit ist der Forderung der Ganghöhengleichheit Genüge getan. Die Proportionsgleichung ergibt:

$$\frac{\text{Neigungswinkel med.}}{\text{Neigungswinkel lat.}} = \frac{\text{Radius lat.}}{\text{Radius med.}}$$

$$\frac{148'}{189'} = \frac{2{,}17}{2{,}63}$$

$$0{,}783 = 0{,}802$$

Differenz: 0,019

Die in der Proportionsgleichung auftretende Differenz von 0,019 ist so gering, daß sie überhaupt nicht in Betracht kommt. Ich glaube auch nicht, daß die in der Tabelle zutagetretenden Differenzen bezüglich der Ganghöhen das Resultat beeinflussen. Es darf wohl angenommen werden, daß die kleinen Schwankungen zum Teil auf Meßfehlern, zum Teil auf individuelle Schwankungen im Bau des Talus zurückzuführen sind.

Auch bei der distalen Rolle des Talus handelt es sich um eine Gelenkschraube, bei der die Verhältnisse aber wesentlich einfacher liegen. Wie schon erwähnt, sind die Radien der beiden Rollkämme näherungsweise gleich, eine Beobachtung, die schon Pütz (10) gemacht hat. Bei der Untersuchung der Neigungswinkel ergaben sich ebenfalls nur ganz geringe Verschiedenheiten, die sich mit etwa 1 % um den Mittelwert

gruppieren. Wir können also hier ohne weiteres sagen: Bei der distalen Rolle des Talus handelt es sich um eine

einfache Zylinderschraube.

	Neig.-W.	Radius (cm)	Ganghöhe (cm)
1. Ochse, 3 Jahre	7° 18′	1,70	1,28
2. Kuh, 4 Jahre	7° 16′	1,35	1,26
3. Kuh, 5 Jahre	6° 49′	1,90	1,33
4. Kuh, 7 Jahre	6° 47′	2,00	1,45
5. Kuh, 9 Jahre	6° 56′	1,85	1,39
Mittelwerte:	7° 01′	1,76	1,34

Der Abstand der beiden distalen Rollkämme voneinander, gemessen von First zu First, beträgt 2,85 cm, also entspricht er mit ziemlich regelmäßiger Genauigkeit der doppelten Ganghöhe der Schraube. Die Achse des Talo-Centrotarsalgelenks ist leicht nach lateral geneigt und konvergiert so mit der Achse des oberen Gelenks nach innen. Die Richtung des Schraubenganges verläuft umgekehrt wie im Talo—Cruralgelenk, d. h. an der linken Extremität ist die Schraube nach links gewunden, an der rechten nach rechts.

Die mechanische Bedeutung der Schraubengelenke hat Langer (8) in einer Entlastung der Muskulatur nach den allgemeinen Prinzipien der Schraube gesehen. Pütz (10) stellt ihm entgegen, daß die Schraube als spezielle Nutzanwendung der schiefen Ebene nur einem Druck gegenüber in Frage komme, der ganz oder doch mindestens teilweise mit der Richtung ihrer Achse zusammenfalle. Die Schraube bedeutet nach ihm weder eine Entlastung für die Muskulatur, noch erzeugt sie eine entschiedene Federung. Er sieht den Vorteil der Schraube darin, daß zu dem senkrecht auf die Gelenkflächen bei der Muskeltätigkeit fallenden Druck auch noch ein seitliches Zusammenpressen durch die Schraube hinzukommt, somit nach zwei Richtungen hin ein möglichst inniger Kontakt besteht, der zur Festigung des Gelenkes beiträgt.

Die Bildung der Gelenkformen findet statt nach der Meinung von Fick (3) und Pütz (10) durch das aktive Eingreifen der Muskeln und Pütz, der darin ein wirksames mechanisches Moment für die Entstehung von reinen Dreh- und Schraubengelenken sieht, sagt darüber das Folgende:

„Beide (nämlich Dreh- und Schraubengelenke) sind einachsige Gelenke und werden an zwei einander gegenüberliegenden Seiten von antagonistischen Muskelgruppen überkreuzt. Stehen diese senkrecht zur Drehachse, so verschieben sie die Gelenkflächen in reinen Kreisbahnen, stehen sie aber schräg zur Drehachse, so erfolgt die Verschie-

bung in Spiral- oder Schraubenbahnen. — Ist es wohl zu gewagt, anzunehmen, daß phylogenetisch der glatte Zylinder den Ausgangspunkt bildet, und daß die gerieften Formen späteren Datums sind, daß sie durch lange Reihen von Generationen hindurch allmählich sich herangebildet haben und zur heutigen Schärfe ausgegipfelt sind?"

Fick (3) hat seine Aufstellungen experimentell begründet und es unterliegt keinem Zweifel, daß er damit recht hat; liegt doch der Kraftansatz niemals im Knochen selber, sondern die Kraft wird immer durch die Muskeln übertragen. Dabei ist es fast selbstverständlich, daß die bei der Bewegung entstehenden Zug- und Druckverhältnisse, die schon im embryonalen Leben vorhanden sind, auf die Entwicklung des Knochens einwirken!

Verfolgt man den **Bewegungsvorgang** im Sprunggelenk bei verschiedenen Säugetieren, so erkennt man, daß die Summe der Beugebewegungen des Fußes auf die verschiedenen Teilgelenke verschieden verteilt sind. Einmal ist es wie beim Pferd das Talo—Cruralgelenk, welchem die größere Excursion zukommt, während die anderen beiden Teilgelenke zu einer straffen, praktisch unbeweglichen Gelenkverbindung umgebildet sind, bald ist der Totalumfang der Beweglichkeit auf die Teilgelenke mehr gleichmäßig verteilt.

Während, wie schon erwähnt, beim Pferde eine Bewegung nur statthat allein im Talo—Cruralgelenk, haben wir beim Rinde ähnliche Verhältnisse wie beim Menschen, nämlich Bewegung in allen drei Teilgelenken des Sprunggelenkes. Es lag nun nahe, zur Festlegung der Abhängigkeit der drei Teilgelenke voneinander, auf künstliche Weise Verhältnisse zu schaffen, die eine Bewegung in dem einen oder anderen Gelenk ausschließen und dann festzustellen, ob und auf welche Weise die andern Gelenke von dieser Maßnahme mitbetroffen werden oder nicht.

1. Versuch:

Es wurden künstlich fixiert das Talo—Calcanealgelenk und das Talo—Centrotarsalgelenk gleichzeitig. Mithin waren beim Sprunggelenk des Rindes künstlich diejenigen Verhältnisse hergestellt wie sie beim Pferde natürlicherweise bestehen. Die Technik der Fixation wurde im Abschnitt „Material und Technik" dargelegt. Nach der Fixation der oben genannten beiden Gelenke bestand eine Bewegungsmöglichkeit im Talo—Cruralgelenk überhaupt nicht mehr.

Als Hemmung wirkte die proximale Einrollung an der oberen Rolle, in der sich das Tibiaende in der Streckstellung befindet, bzw. der feststehende Talus; da die Seitenbänder nicht so dehnbar sind, daß das Ende der Tibia das auf der oberen Rolle gleitet, bei fixiertem Talus über den Teil der Rollkämme, der den größeren Radius hat, gehoben werden kann, tritt vollständige Hemmung ein.

2. Versuch:

Fixiert wurde allein das Talo—Calcanealgelenk, und zwar in der angegebenen Weise, während die anderen beiden Teilgelenke unbehelligt blieben. Als Erfolg hiervon war:

1. Im Talo—Cruralgelenk nur eine geringe Beweglichkeit passiver Natur festzustellen, deren Umfang mittels Gelenkphantom mit etwa 9° festgelegt wurde.
2. Im Talo—Centrotarsalgelenk war eine Bewegung nicht zu erzielen.

3. Versuch:

Festgestellt war das Talo—Cruralgelenk allein, wonach keinerlei Bewegung in den beiden anderen Gelenken mehr möglich war.

Die Hemmung bilden die Bänder, die das Distalende der Tibia mit dem Calcaneus und dem Centrotarsale verbinden; außerdem das lig. tarsi plantare.

4. Versuch:

Festgestellt war allein das Talo—Centrotarsalgelenk; nach dieser Fixierung konnte

1. Im Talo—Cruralgelenk eine Bewegung mit 23° festgestellt werden und
2. war im Talo-Calcanealgelenk eine Bewegungsmöglichkeit von etwa 10° gegeben.

Die Beteiligung der drei Teilgelenke an dem gesamten Bewegungsumfang geschieht nun wie folgt:

Niemals ist unter natürlichen Verhältnissen eine Bewegung in einem der drei Teilgelenke festzustellen, sondern eine Beuge- oder Streckbewegung ist immer dargestellt als Summe von mindestens zwei Teilgelenksbewegungen. Die Bewegung erfolgt in der Weise, daß beim Uebergang von extremer Streckstellung in Beugung alle drei Teilgelenke die Bewegung gleichzeitig beginnen, während die letzten 32° der Bewegung allein durchgeführt werden im Talo—Calcanealgelenk und im Talo—Centrotarsalgelenk. Dem entsprechend wird bei der Beuge—Streckbewegung der erste Teil der Bewegung allein im Talo-Calcaneal-, und Talo—Centrotarsalgelenk bestritten, während nach Ablauf der ersten 32° das Talo-Cruralgelenk die Bewegung mit aufnimmt und sie von allen drei Teilgelenken gemeinsam zu Ende geführt wird.

Zur Untersuchung der Kinematik des Sprunggelenkes benutzte ich frische Gelenke, die so wenig als möglich präpariert wurden, um die intra vitam bestehenden Verhältnisse möglichst zu erhalten, zumal ja die Excursionen am Bandpräparat wesentlich umfangreicher sind wie am lebenden Tier, wie Kontrollmessungen gezeigt haben.

Die umfangreiche Kapsel des Talo—Cruralgelenkes, sowie diejenige des Sprungbein—Ferenbeingelenkes, lassen Bewegungen bis zur

Knochenhemmung zu. Bei der Streckung tritt die Hemmung in den beiden genannten Gelenken ein, wenn die Anstoßfacette des lateralen proximalen Rollkammes mit dem corpus calcanei in Kontakt tritt. Bei der Beugung findet die Bewegung dann ihren Abschluß, wenn das dorsale Ende des Kammes der Tibia mit dem Abschluß der Rollgrube des Talus in Berührung tritt. Die kongruente Beschaffenheit der Gelenkflächen sorgt dafür, daß in keiner Phase der Bewegung ein Klaffen der Gelenkspalte in Erscheinung tritt. Im Sprungbein—Fersenbeingelenk erfährt die Beugebewegung ihre Hemmung durch die Wirkung der tarsalen Zwischenreihenbänder. Im Talo—Centrotarsalgelenk erfolgt die Hemmung hauptsächlich durch die Anspannung der dorsalen Längsbänder.

Zur Festlegung des Bewegungsvorganges benutzte ich das von A. O. Stoß (14) konstruierte Gelenkphantom (Abb. X): Auf einem Tische wird ein Schraubstock, der zur Befestigung des Gelenkes dient, angebracht. Auf vier in ihrer Höhe verstellbaren Füßen ruht ein Metallrahmen von Kreisform, dessen Mittelpunkt mit Hilfe zweier langer, verschraubbarer Metallstifte in den Gelenkmittelpunkt eingestellt werden kann. Diese Stifte stellen gleichzeitig die beiden Polachsen dar und gehen durch die gemeinsame Gelenkachse; sie können direkt an das Gelenk herangebracht werden und so läßt sich aus ihrer meßbaren Länge ersehen, ob sich der Gelenksmittelpunkt genau in der Mitte der Bahnkugel befindet. An dem Pole ist ein halbkreisförmiger Eisenreif beweglich befestigt dieser Ring stellt einen Meridian dar, auf dem vom Aequator; aus gegen die beiden Pole zu die Breitenkreise eingetragen sind. Um einen der Pole ist ein Winkelmesser angebracht, an dem man den Grad der Drehung des Meridians ablesen kann.

Mit Hilfe dieser Konstruktion ist es möglich, die Bewegungen eines Gelenkes räumlich auf einem Kugelgradnetz darzustellen, ein Verfahren, das auch Fick (3) und Strasser (13) im Prinzip anwendeten.

Zur Feststellung des gesamten Bewegungsumfanges erwies es sich als zweckmäßig, ja notwendig, den Metatarsus zu fixieren, da das Verfahren dadurch ganz bedeutend an Anschaulichkeit gewinnt. Da beim Sprunggelenk des Rindes das Rollbein geradezu als knöcherner Meniscus betrachtet werden kann, so ergibt die Ueberlegung, daß die Bewegungen der Tibia in genau entgegengesetzter Richtung verlaufen als die des Metatarsus, daß also einer Plantarbeugung und einer adduktorischen Bewegung der Tibia eine Dorsalbeugung und eine Abduktion des Metatarsus entsprechen muß.

Zur Aufstellung der Versuchsanordnung wurde also das Gelenk so in den Schraubstock eingespannt, daß der Gelenksmittelpunkt und der Mittelpunkt der Bahnkugel zusammenfielen und die Polachse sich mit der gemeinsamen Sprunggelenksachse deckte. Dazu mußte nun erst die gemeinsame Sprunggelenksachse nach der vorne angegebenen Methode bestimmt werden.

Um die Umfänge der Bewegung von Tibia, Calcaneus und Talus auf der Bahnkugel messen zu können, mußten die mechanischen Längsachsen der Kugel verlängert werden; das geschah bei der Tibia dadurch, daß in das Mark des Knochens eine Nadel eingesteckt wurde. Am Calcaneus wurde am proximalen Ende desselben in der Richtung der Längsachse ein Bohrloch angelegt und eine Nadel eingesteckt. Um die Bewegungen des Talus ebenfalls meßbar zu machen, wurde in der plantaren Anstoßfacette des medialen Rollkammes in der üblichen Weise eine Zeigernadel angebracht.

Um nun auch Bewegungen um die Längsachsen der in Frage kommenden Gelenkteile im Laufe der Bewegung messen zu können, wurde auf die Zeigernadel ein Winkelmesser so angebracht, daß eine supinatorische oder pronatorische Bewegung jederzeit in Winkelgraden gemessen werden konnte.

In äußerster Streckstellung zeigte nun die die mechanische Längsachse der Tibia verlängernde Zeigernadel auf den Meridian 125 und den Breitenkreis 3,5, in extremer Beugung auf Meridian 2 und Breite 4,5; also ist der Gesamtbewegungsumfang an dem Untersuchungsobjekt 125 ° mit einer Adduktion von 1 °, entsprechend der Schraubennatur des Gelenkes. Daß aber die seitliche Bewegung weit größere Werte hat als die am Schlusse der Streck—Beugebewegung resultierende Adduktion von 1 °, zeigt die folgende Zusammenstellung der Zwischenwerte zwischen extremer Streckung und extremer Beugung; die Breitegrade lateral vom Breitegrad 0 wurden mit negativem Vorzeichen versehen.

	Meridan	Breite
Extreme Streckung	125	3,5
	110	0,5
	100	— 1,5
	90	— 2,5
	80	— 4,0
	70	— 4,0
	60	— 4,0
	50	— 3,0
	40	— 1,0
	30	0,0
	20	2,0
	10	3,5
Extreme Beugung	2	4,5

Aus dieser Tabelle geht hervor, daß die endliche Adduktion das Resultat aus einer anfänglichen abduktorischen Bewegung, die in eine größere adduktorische übergeht, ist. Denn von der äußersten Streckstellung mit der Breite 3,5 erfolgt etwa bis zur Hälfte des Streck—Beugeumfanges eine Abduktion bis zur Breite —4,0 und von da aus eine reine Adduktion bis zur Breite 4,5. Es liegen also die beiden

extremen Punkte der Seitwärtsbewegung zwischen den Breiten — 4,5 und 4,5 und somit beträgt der Wert der gesamten seitlichen Bewegung 8,5 °.

Als Mittel des Bewegungsumfanges der untersuchten Sprunggelenke erhielt ich 126 ° mit einer Adduktion von 2,5 °. Der Mittelwert der ganzen seitlichen Verschiebung beträgt 8 °. Durch den an der Nadelspitze angebrachten Winkelmesser wurde auch eine bei der Dorsalbeugung des Fußes auftretende Auswärtsbewegung festgestellt und zwar betrug der Mittelwert dieser Supination 7,5 °.

Die in der Streckstellung in der Längsachse des Calcaneus angebrachte Nadel zeigte auf den Meridian 159 und Breite — 4,0, in der Beugestellung erreichte sie 132 und 1,5. Die Zwischenwerte:

	Meridan	Breite
Extreme Streckung	159	— 4,0
	150	— 2,5
	140	0,5
Extreme Beugung	132	1,5

Wir haben also hier einen maximalen Bewegungsumfang des Calcaneus von 27 ° und eine reine adduktorische Bewegung von 5,5 °, bei einer festgestellten Supination von 5 °.

Als Mittelwert für den gesamten Bewegungsumfang des Calcaneus ergaben sich 23 °, für die Adduktion 6 °, für die Supination 4 °.

Eine in die plantare Anstoßfacette des medialen Rollkammes eingeschlagene Zeigernadel ergab einen Bewegungsumfang der Rolle von dem Punkt Meridian 169 und Breite 3,5 bei extremer Streckung bis zu dem Punkt Meridian 86 und Breite 2,5 bei äußerster Beugung. Mittelwerte sind:

	Meridan	Breite
Extreme Streckung	169	3,5
	160	2,5
	150	1,0
	140	0,0
	130	— 1,0
	120	— 1,0
	110	— 0,5
	100	0,5
	90	1,5
Extreme Beugung	86	2,5

Der ganze Streck—Beugeumfang beträgt 83 ° bei einer Seitwärtsbewegung von 4,5 °. Im Mittel betragen die entsprechenden Werte 85 ° und 5 °.

Die nach Meridian und Breite festgelegten Punkte wurden auf ein Gradnetz übertragen und man erhält so die in Abb. XI dargestellten Bewegungskurven.

Eine Bewegung in den distalen Tarsalgelenksreihen war in keinem Falle zu bemerken, hingegen waren bei den Gelenken von zwei älteren Tieren alle Verbindungen zwischen Centrotarsale, Tarsale (2 u. 3), Tarsale 1 und Metatarsus verknöchert.

Was die Differenz von 16° zwischen den Messungen von Langer (8) und den meinigen bezüglich des Gesamtbewegungsumfanges am Sprunggelenk des Rindes betrifft, so ist in diesem Zusammenhang interessant, daß man eine fast gleiche Differenz zwischen den Messungsergebnissen von Langer am Sprunggelenk des Pferdes und denen von A. O. Stoss (14) wahrnimmt. Während Langer einen Gesamtbewegungsumfang von 120° angibt, verzeichnen die späteren Messungen von A. O. Stoss einen solchen von 137° im Mittel; also eine Differenz von 17°, während die Differenz von 16° zwischen Langer's und meinen Messungen fast gleich groß ist.

Fick (3) sagt vom Sprunggelenk des Menschen, daß eine Bewegung im oberen Gelenk (Talo—Cruralgelenk) allein sich wohl niemals erzielen lasse, weil kein einziger Muskel sich nur an der Rolle ansetze, sondern alle auf den Metatarsus übersprängen; somit hätten wir beim Sprunggelenk des Rindes ganz ähnliche Verhältnisse wie bei dem des Menschen.

In keiner Stellung des Gelenkes konnte ich Drehbewegungen um die Längsachse des Metatarsus erzielen; in extremer Beugestellung, wo die Seitenbänder am stärksten erschlafft waren, gelang eine gewaltsame Adduktion und Abduktion von etwa 5°. Aber es handelt sich dabei sicherlich um Wackelbewegungen, die niemals als typisch angesprochen werden dürfen, denn am Lebenden ist eine Ab- oder Adduktion unmöglich.

Die Messungen des Bewegungsumfanges am lebenden Tier wurden zum Vergleich der sich am toten Gelenk ergebenden Verhältnisse an dem Rinderbestand des Geburtshilflichen Institutes durchgeführt. Zu diesem Zweck mußten drei fixe Punkte am Gelenk gesucht werden und es erwiesen sich als geeignet folgende Meßpunkte:

1. an der Tibia des Fibulaköpfchen,
2. am Metatarsus der laterale Bandhöcker am Distalende,
3. die über dem Sprungbein sich am deutlichsten markierende Stelle des langen, lateralen Seitenbandes (diese Stelle entspricht dem Bandhöcker des Os malleolare).

Die Messungen wurden durchgeführt bei zwölf Tieren, davon waren sieben ältere Kühe und fünf Bullen im Alter von 1½ bis 2 Jahren. Alle Tiere gehörten mit Ausnahme einer Kuh dem Alpenfleckvieh-Schlag an.

Die Messungstechnik wurde eingangs genau erläutert. Im Mittel ergaben die Messungen folgende Werte:

Gesamtumfang der passiv erreichten Bewegung:	93°
bei der Normalstellung betrug der Winkel	135°
bei extremer Streckung	154°
bei extremer Beugung	61°

Der Gesamtbewegungsumfang am lebenden Tier ist also um 33° geringer als am toten Gelenk.

Was die Federung des Sprunggelenkes beim Rind betrifft, so gehen die verschiedenen Ansichten auseinander. Martin (9) in seinem Lehrbuch bestreitet eine Federung des Sprunggelenkes beim Rind vollkommen, während Pütz (10) und Böltz (1) sie bejahen, aber praktisch für bedeutungslos halten. Das Ergebnis meiner diesbezüglichen Untersuchungen geht dahin, daß eine Federung sehr wohl vorhanden ist, wenn auch lange nicht so deutlich wie beim Pferd. Der Punkt des labilen Gleichgewichtes befindet sich etwa 19° von der extremen Streckstellung entfernt und scheint ziemlich konstant zu sein, denn ich fand nur Schwankungen, die zwischen 18° und 29° lagen. Außerdem fällt der Punkt des labilen Gleichgewichtes ziemlich genau mit der Normalstellung zusammen.

IV. Untersuchungsergebnisse.

Meine Untersuchungsergebnisse über die Anatomie des Tarsalgelenkes geben zunächst Einblick in die Krümmungsverhältnisse der wichtigen Gelenkflächen und zeigen, daß keine Gelenkfläche nach ein und demselben Radius gekrümmt ist, sondern die Krümmungsachse auf jedem Teilstück eine andere ist, d. h. also: Die Konturlinien der einzelnen Gelenkflächen sind dargestellt durch Evolenten, deren Krümmungsmittelpunkte auf der zugehörigen Evolute liegen. Die Gelenkachsen sind Momentachsen.

Bezüglich der Knorpelstärken ergänzen meine Messungen diejenigen von Seidel (11) für das Sprunggelenk! Seidel gibt für eine Gelenkfläche jeweils einen Mittelwert an, der mit den von mir festgestellten Mittelwerten übereinstimmt. Darüber hinaus ergeben meine Untersuchungen, daß die Knorpeldicke vollkommen von den örtlichen Druckverhältnissen abhängig ist und zwar in der Weise, daß Gelenkflächen, die zur Druckrichtung senkrecht stehen, einen dünneren Knorpelüberzug besitzen als solche, deren Fläche gegen den Kraftangriff geneigt ist. Ganz allgemein läßt sich der Satz aufstellen: Je größer der auf einer überknorpelten Fläche lastende Druck ist, desto dünner ist die Knorpelschicht. Die Ursache hierfür mag wohl in einer Art Druckatrophie des Knorpels beruhen, eine Annahme, die auch durch

die Tatsache an Wahrscheinlichkeit gewinnt, daß die Knorpelstärke mit zunehmendem Alter immer geringer wird.

Von der gemeinsamen Verbindung der drei Abschnitte der Gelenkkapsel sagen Martin (9) und Franck (5), sie befinde sich an der lateralen Seite und proximal". Meine an einer Reihe von Gelenken gewonnene Erfahrung geht dahin, daß wohl die Verbindung zwischen proximalem und plantarem Sack proximal gelegen ist und zwar zwischen der lateralen und medialen Anstoßfacette der proximalen Rolle; die Verbindung des plantaren und distalen Sackes der Kapsel liegt jedoch medial, direkt unter dem medialen, langen Seitenband. Ueber das Gesamtvolumen der drei miteinander in Verbindung stehenden Synovialsäcke macht keiner der Autoren eine Angabe, so daß für den von mir gefundenen Wert von 40 ccm eine Vergleichsmöglichkeit nicht vorhanden ist.

Die Untersuchung des Bandapparates führte zu der Beschreibung und Benennung einer Reihe von Bändern, über die in der mir zugänglich gewesenen Literatur keine Angaben zu finden waren. Es sind dies an Längsbändern die Lgg. calcaneo—centrotarsale plantare, calcaneo—metatarsale laterale, centrotarsale—metatarsale mediale, talo—centrotarsale dorsale capsulare; an Querbändern die Ligg. talo—tibiale breve, talo—tibiale plantare capsulare, tali laterale internum, calcaneo—centrotarsale laterale. Die Lgg. talo—fibulare und talo—tibiale longum entsprechen in der Humananatomie den Lgg. fibulo—talare posterius und tibio—talare posterius nach Fick (3). Eine Unterscheidung in anterius und posterius, wie sie am Sprunggelenk des Menschen notwendig ist, erübrigt sich beim Rinde, da diese Bänder jeweils nur in der Einzahl vorhanden sind. Das Lig. tarsi dorsale, von dem Martin (9) sagt, „es fehlt oder ist sehr schwach", während es Ellenberger-Baum (2) fanden, habe ich immer nachweisen können; allerdings ist es sehr schwach.

Pütz (10), der als einziger den Neigungswinkel für die proximale Rolle bestimmte, gibt dafür den Wert von 0—4,5° an. Die Ursache für diese großen Schwankungen liegt, wie A. O. Stoss (14) nachgewiesen hat, in der Untersuchungstechnik von Pütz begründet. Meine diesbezüglichen Messungen beweisen im Gegenteil, daß der Neigungswinkel bei allen untersuchten Rollbeinen ziemlich konstant ist. Ferner hat Pütz für die proximale Rolle nur einen Neigungswinkel bestimmt; daß aber von einem Neigungswinkel der beiden Rollkämme nicht gesprochen werden kann, zeigen die von mir gewonnenen Werte von 2° 32′ für den lateralen, und 3° 15′ für den medialen Kamm aufs deutlichste, da der Neigungswinkel des lateralen hinter dem des medialen Kammes um volle 40′ zurückbleibt. Während Pütz als Zahlenwerte in mm für den Radius des lateralen Kammes 25,0—27,5 und für den medialen 19,5—21,5 angibt, fand ich im Mittel für den Radius des lateralen Kammes 26,3, für den medialen 21,7, also ein Verhältnis von

Radius des lateralen Kammes zu dem des medialen wie 24 : 20. Pütz drückt das Verhältnis der beiden Radien zueinander in Prozenten aus und demnach beträgt der Wert des medialen Radius 78 % des lateralen; das entspricht einem Verhältnis von 25 : 20.

Den Grundkörper, welcher der proximalen Rolle zu Grunde liegt, versuchte schon Langer (8) festzustellen und schloß aus der Verschiedenheit der Radien auf einen Kegel. Ihm hat Henke (6), dem sich später Pütz (10) und dann Böltz (1) anschlossen, widersprochen und auf den Doppelzylinder hingewiesen. Durch die vorliegenden Untersuchungen konnte sowohl der einfache Zylinder sowie auch der Kegel ausgeschaltet und das Vorliegen einer sogenannten Doppelzylinderschraube, wie sie schon Henke (6) angenommen hat, auch rechnerisch nachgewiesen werden. Die Doppelzylinderschraube ist ein System von zwei Zylindern mit gemeinsamer Achse und verschiedenen Radien, wobei die um je einen Zylinder gelegten Schraubenlinien derart miteinander verbunden sind, daß ihre Ganghöhe gleich ist und ihre Neigungswinkel umgekehrt proportional den Zylinderradien sind.

Bei der distalen Rolle haben wir wesentlich einfachere Verhältnisse, was auch Langer (8) und Pütz (10) erkannt haben. Langer gibt an, es handle sich um eine Zylinderschraube, äußert sich aber über Ganghöhe und Radien nicht. Pütz weist darauf hin, daß die Radien der Rollkämme gleich seien, der Neigungswinkel 6—7° betrage, die Ganglinien sich „zu Werten erheben, die hinter den dortigen des Pferdes nicht zurückstehen". Da aber das Rollbein des Pferdes eine distale Rolle nicht besitzt, ist dieser letzte Hinweis nicht richtig, da nur die proximale Rolle des Pferdes in Vergleich gesetzt werden könnte; Zahlenwerte finden wir auch bei Pütz (10) nicht. Meine Untersuchungen zeigen nun, daß es sich tatsächlich um eine einfache Zylinderschraube handelt, daß die Größe ihrer Radien mit rund 18,0 mm gleichzusetzen ist, die Ganghöhe 13,4 mm im Mittel beträgt. Der Wert, den Pütz für den Neigungswinkel angibt, stimmt ziemlich genau mit dem von mir gefundenen Wert von 7° 01′ überein.

Langer (8) hat festgestellt, daß die Achsen beider Rollen nicht untereinander parallel verlaufen, sondern nach innen, gegen die Drehungsachse des Sprungbeins konvergieren. Ich bestimmte den Winkel, den die Achsen mit der mechanischen Längsachse bilden, und erhielt rund 88°.

Da über die Abhängigkeit der drei Teilgelenke, aus denen sich das Tarsalgelenk zusammensetzt, bei den Autoren verschiedene Meinungen zu bestehen schienen, lag es nahe, durch Fixation der einzelnen Teilgelenke nacheinander oder von zweien gleichzeitig, Verhältnisse herzustellen, die es gestatten, die Abhängigkeit der einzelnen Teilgelenke von einander eingehend zu studieren. Das Resultat aus diesen Versuchen ist ein sehr eindeutiges. Man kann auf Grund meiner Feststellungen

behaupten, daß in dem Verbande des Tarsalgelenkes eine derartige Zwangsläufigkeit besteht, daß beim Ausfallen irgend eines der drei Teilgelenke durch Fixation das ganze System praktisch erstarrt. Lediglich eine nennenswerte Beweglichkeit ist möglich im Talo—Cruralgelenk und Talo—Calcanealgelenk bei Fixation des Talo—Centrotarsalgelenks allein; sie beträgt 23° für das Talo—Cruralgelenk und 10° für das Talo—Calcanealgelenk. Insbesondere ist aufschlußreich, daß bei Fixation des Talo—Calcanealgelenks und des Talo—Centrotarsalgelenks gleichzeitig, also Erzeugung derjenigen Verhältnisse wie sie beim Pferde natürlicherweise bestehen, eine Bewegungsmöglichkeit im Talo—Cruralgelenk überhaupt nicht mehr gegeben war.

v. Kripp (7) kam im Laufe seiner Erörterungen über die Astragalusbewegung der Paarhufer zu dem Schluß, daß von Natur aus das Sprunggelenk des Pferdes ein zum Laufen, das der Paarhufer ein zum Springen eingerichtetes Gelenk sei. Eine solche Aufstellung aber übersieht vollkommen, daß eine so große Kraft, wie sie der Sprung erfordert, nur dann wirksam werden kann, wenn sie auf einer absolut festen Unterlage, einem Widerlager angesetzt werden kann. Dieses Widerlager ist gegeben beim Sprunggelenk des Pferdes, dessen Talus praktisch unbeweglich auf der Unterlage aufsitzt und bei dem eine Bewegung nur möglich ist im Talo—Cruralgelenk, während alle anderen Fußwurzelgelenke ohne Bewegung sind. Das gerade Gegenteil aber ist der Fall beim Sprunggelenk des Rindes, wo wir in drei Teilgelenken Beweglichkeit haben. In einem so wenig geschlossenen Gelenk, das ein Widerlager ähnlich dem des Pferdes vollkommen vermissen läßt, besteht jederzeit die Möglichkeit eines Ausweichens gegenüber dem Kraftangriff.

Um seine Annahme zu stützen, gibt v. Kripp (7) eine eingehende Darstellung der Vorgänge beim Sprung der Paarhufer; danach würde beim Abschwung nach vollständiger Streckung nochmals eine Beugung im unteren und hinteren Fußwurzelgelenk (Talo—Centrotarsal- und Talo—Calcanealgelenk) allein eintreten und die Tibia würde durch dieses nach „vorne Umfallen des Talus“ um das Längenmaß desselben vorgeschnellt. Aus meinen Untersuchungen geht hervor, daß eine solche Stellung des Gelenkes unmöglich ist; es ist mir gelungen, zu zeigen, daß bei Fixation des Talo—Cruralgelenkes in der Streckstellung, von der doch v. Kripp bei seiner Beweisführung ausgeht, eine Bewegungsmöglichkeit in einem der anderen beiden Gelenke oder in beiden zusammen nicht gegeben ist. Mithin stützt sich die Beweisführung v. Kripp's auf eine unrichtige Voraussetzung.

Ueber die Beteiligung der einzelnen Gelenke am Gesamtbewegungsumfang im Sprunggelenk sagt Langer (8), daß die ersten 15° der Streck—Beugebewegung im oberen Gelenk allein ausgeführt werden, bis 55° im oberen und unteren zusammen und der Rest allein im

unteren. Das hintere Gelenk berücksichtigt er überhaupt nicht, während Böltz (1) angibt, von dem Gesamtbewegungsumfang von 118° würden 78—80° im oberen und 20° im plantaren Gelenk ausgeführt. Meine eigenen, mit Hilfe des Gelenkphantoms gewonnene Erfahrung geht dahin:

Beim Uebergang von extremer Streckstellung in extreme Beugung beginnen alle drei Teilgelenke gleichzeitig die Bewegung, während die letzten 32° der Bewegung durchgeführt werden vom unteren und hinteren Gelenk allein; umgekehrt beginnen den Beuge—Streckumfang das Talo—Centrotarsal- und das Talo—Calcanealgelenk allein und nach Ablauf von 32° der Bewegung nimmt das Talo—Cruralgelenk die Bewegung mit auf und wird gemeinsam zu Ende geführt.

Für den Gesamtbewegungsumfang am Gelenkpräparat gibt Langer (8) 110° an, während Böltz (1) seinen Wert mit 118° bestimmte Ich erzielte bei meinen Messungen im Durchschnitt 126°. Darauf, daß zwischen meinen Werten und denen von Langer beim Rinde fast die gleiche Differenz zutage tritt, wie zwischen den Messungen von A. O. Stoss (14) und denen von Langer (8) beim Pferde, habe ich schon hingewiesen. Diese Beobachtung könnte darauf schließen lassen, daß die Ursache der Differenzen in der Messungstechnik zu suchen ist. Der von Böltz (1) angegebene Wert liegt zwischen beiden. Ueber seitliche und supinatorische bzw. pronatorische Bewegungen äußert sich keiner der Autoren. Ich stellte am Ende der Streck—Beugebewegung eine Supination von 7,5°, bei einer Adduktion von 2,5° (im Mittel) fest. Die endliche Adduktion von 2,5° ist aber das Ergebnis aus einer anfänglichen Abduktionsbewegung etwa bis zur Mitte des Bewegungsumfanges, die von der Mitte bis zum Schlusse in eine größere adduktorische Bewegung übergeht. Der Mittelwert der gesamten seitlichen Bewegung ist also weit größer und beträgt 8°.

Die Kontrollmessungen über den am lebenden Tier passiv erreichbaren Bewegungsumfang ergaben, daß der Exkursionsbereich am Lebenden um 33° geringer ist als am Präparat. Böltz (1), der allein Angaben verzeichnet, kommt zu einer geringeren Differenz, weil seine Messungen am Präparat geringere Werte ergaben, obwohl die am lebenden Tier erzielten Ergebnisse ziemlich genau mit den von mir gefundenen Werten übereinstimmen.

Die Federung des Sprunggelenkes beim Rinde wird bestritten von Martin (9) und Franck (5), während Pütz (10) und Böltz (1) sie fanden, aber praktisch für bedeutungslos halten. Ich konnte bei allen untersuchten Gelenken eine deutliche, wenn auch lange nicht so kräftige Federung wie beim Pferd feststellen. Außerdem ergab sich, daß der Punkt des labilen Gleichgewichtes, der sich im Mittel 20° von der extremen Streckstellung entfernt findet, ziemlich genau mit der Normalstellung am lebenden Tier zusammenfällt. Daraus ergibt sich,

daß sowohl beim Beugen als auch beim Strecken der Extremität die Federung unterstützend hinzutritt. Der Grund für die Federung ist wohl darin zu suchen, daß die obere Rolle proximal und distal eine deutliche Einrollung zeigt und die langen Seitenbänder eine seilartige Drehung aufweisen.

V. Schluß-Sätze.

Das Tarsalgelenk des Rindes ist also ein zusammengesetztes Gelenk, ein Articulus compositus (Articulatio composita). Es setzt sich zusammen aus dem Articulus talo—cruralis, einem Doppelzylinderschraubengelenk, aus dem Articulus talo—centrotarsalis, einem einfachen Zylinderschraubengelenk und endlich dem Articulus talo—calcanealis, einem vollkommenen Wechselgelenk, einem Ginglymus. Die Abhängigkeit dieser drei Teilgelenke ist derart, daß eine vollkommene Zwangsläufigkeit zwischen ihnen besteht. Bei Ausfall eines der drei Teilgelenke erstarrt praktisch das ganze System.

Das Volumen der drei Synovialsäcke, welche das ganze Gelenk umschließen, beträgt 40 ccm. Ihre gemeinsame Verbindung liegt proximal zwischen der lateralen und medialen Anstoßfacette der oberen Rolle des Talus und medial unter dem langen medialen Seitenband.

Der Radius des lateralen Kammes der proximalen Rolle des Talus verhält sich zu dem des medialen wie 24 : 20; die Neigungswinkel der Rollkämme sind umgekehrt proportional zu den Radien. Die Ganghöhe der beiden Schraubenkämme ist gleich. Die Achse der proximalen Rolle ist in einem Winkel von 88° zur mechanischen Längsachse nach medial geneigt.

Wesentlich einfachere Verhältnisse bestehen an der distalen Rolle. Die Radien der Schraubenkämme stehen im Verhältnis 1 : 1, ihre Ganghöhe beträgt 13,4 mm, ihr Neigungswinkel 7° 01′.

Keine Gelenkfläche ist nach ein und demselben Radius gekrümmt, sondern ihre Konturlinien stellen Evolventen dar, ihre Krümmungsmittelpunkte liegen auf der zugehörigen Evolute. Die Gelenkachsen sind Momentachsen.

Die Knorpeldicke an den verschiedenen Gelenkflächen ist abhängig von den örtlichen Druckverhältnissen, d. h. je größer der Druck ist, der auf einer überknorpelten Fläche lastet und je weniger geneigt diese Fläche zur Druckrichtung ist, desto geringer ist die Knorpeldicke.

Der gesamte Bewegungsumfang verteilt sich auf die drei Teilgelenke so, daß beim Uebergang von extremer Streckstellung in die Beugestellung die drei Gelenke gleichzeitig die Bewegung beginnen und die letzten 32° der Bewegung allein im Talo—Centrotarsal- und Talo—Calcanealgelenk ausgeführt werden. Umgekehrt beginnen bei

der Beuge—Streckbewegung das untere und hintere Gelenk die Bewegung und nach Ablauf der ersten 32° nimmt das Talo—Cruralgelenk die Bewegung mit auf, die dann gemeinsam von allen Gelenken zu Ende geführt wird.

Der Gesamtbewegungsumfang am Gelenkpräparat beträgt 126°. Bei der Streck—Beugeexkursion tritt eine Adduktion von 2,5° und eine Supination von 7,5° auf. Die seitliche Bewegung ist aber bedeutend größer als durch die endliche Adduktion von 2,5° zum Ausdruck kommt, da sie das Ergebnis aus einer anfänglichen Abduktionsbewegung die in eine größere Adduktion übergeht, ist. Die gesamte seitliche Bewegung beträgt 8°.

Der Bewegungsumfang am lebenden Tier ist um 33° geringer als am Präparat und beträgt somit 93°. Der bei der Normalstellung gemessene Winkel hat den Wert von 135°.

Eine Federung ist vorhanden, wenn auch lange nicht so ausgeprägt wie beim Pferde. Der Punkt des labilen Gleichgewichtes liegt 20° von der extremen Streckstellung entfernt. Da dieser Punkt außerdem ziemlich genau mit der Normalstellung zusammenfällt, so tritt die, wenn auch geringe Federung sowohl beim Beugen als auch beim Strecken des Fußes unterstützend hinzu. Der Grund der Federung liegt in der proximalen und distalen Einrollung der oberen Rolle des Talus.

Nach Beendigung meiner Arbeit sei mir gestattet, Herrn Professor Dr. A. O. Stoss für die Ueberlassung des Themas, ganz besonders aber für die Anleitung und Unterstützung, die mir von seiner Seite jederzeit zuteil wurde, an dieser Stelle meinen verbindlichsten Dank auszusprechen.

D. Literaturverzeichnis.

1. Böltz, K.: Anatomie und Kinematik des Sprunggelenks beim Rind. Inaug.-Diss. München 1922. (Ref. Tierärztl. Rdsch., Nr. 17, 1926, S. 300.)

2. Ellenberger-Baum: Handbuch der vergleichenden Anatomie der Haustiere. Verl. Hirschwald, Berlin. 16. Aufl., S. 191 und 179.

3. Fick, R.: Handbuch der Anatomie und Mechanik der Gelenke. Verl. Fischer, Jena, 1904, I. Teil, S. 416, II. Teil S. 596.

4. Fischer, O.: Medizinische Physik. Verl. Hirzel, Leipzig 1913.

5. Franck, L.: Handbuch der Anatomie der Haustiere. III. Auflage. Verl. Schickhard und Ebner, Stuttgart 1894, Band I, S. 314.

6. Henke, W.: Handbuch der Anatomie und Mechanik der Gelenke. Verl. Winter, Leipzig u. Heidelberg 1863, S. 250.

7. v. Kripp, D.: Bau, Funktion und Bewegungsmechanismus der Hinterextremität bei Paar- und Unpaarhufern unter besonderer Berücksichtigung der Fußwurzel. Gegenbauer's morph. Jb., hgb. von E. Göpfert, Marburg, 76. Bd., Heft 2, S. 259, 1935.

8. Langer, K.: Ueber das Sprunggelenk der Säugetiere und des Menschen. Denkschriften der math.-naturwissenschaftlichen Klasse der K. Akademie der Wiss., Wien 1856, Bd. 12, Abt. II, S. 1.

9. Martin, P.: Lehrbuch der Anatomie der Haustiere. Verl. Schickhardt u. Ebner, Stuttgart 1919, II. Aufl., Band III, S. 225.

10. Pütz, H.: Beiträge zur Anatomie und Physiologie des Sprunggelenkes. Zschr. für prakt. Veterinärwiss., Verl. Dalp, Bern 1876, S. 193.

11. Seidel, R.: Untersuchungen über die Gelenkknorpelstärken beim Rinde. Inaug.-Diss. Berlin 1920.

12. Schmaltz, R.: Atlas der Anatomie des Pferdes. II. Auflage. Verlag Schoetz, Berlin 1909, Teil I und II.

13. Strasser, H.: Lehrbuch der Muskel- und Gelenkmechanik. III. Band. Verl. Springer, Leipzig 1917.

14. Stoss, A. O.: Anatomie und Kinematik der Gelenke der Pferdeextremitäten. Hab.-Schr. 1920, Zschr. für Anatomie und Entwicklungsgeschichte, 1923, Bd. 69, Heft 1/3.

Lebenslauf.

Am 11. Mai 1912 wurde ich, Kurt Hagenbuch, als Sohn des Sparkassenverwalters Jakob Hagenbuch und dessen Ehefrau Katharina, geb. Christmann, in Bergzabern (Rheinpfalz) geboren. Nach vierjährigem Besuch der dortigen Volksschule trat ich in das Progymnasium meiner Heimatstadt über. Vom sechsten Gymnasialjahr ab besuchte ich das hum. Gymnasium in Landau (Pfalz), wo ich im Jahre 1933 das Reifezeugnis erhielt. Darauf widmete ich mich dem Studium der Tierheilkunde an der Tierärztlichen Fakultät der Universität in München, wo ich auch im Wintersemester 1934/35 die tierärztliche Vorprüfung und am 15. Juni 1938 die tierärztliche Bestallungsprüfung ablegte. Mit der vorliegenden Dissertation war ich beschäftigt vom Wintersemester 1936/37 bis Wintersemester 1937/38.

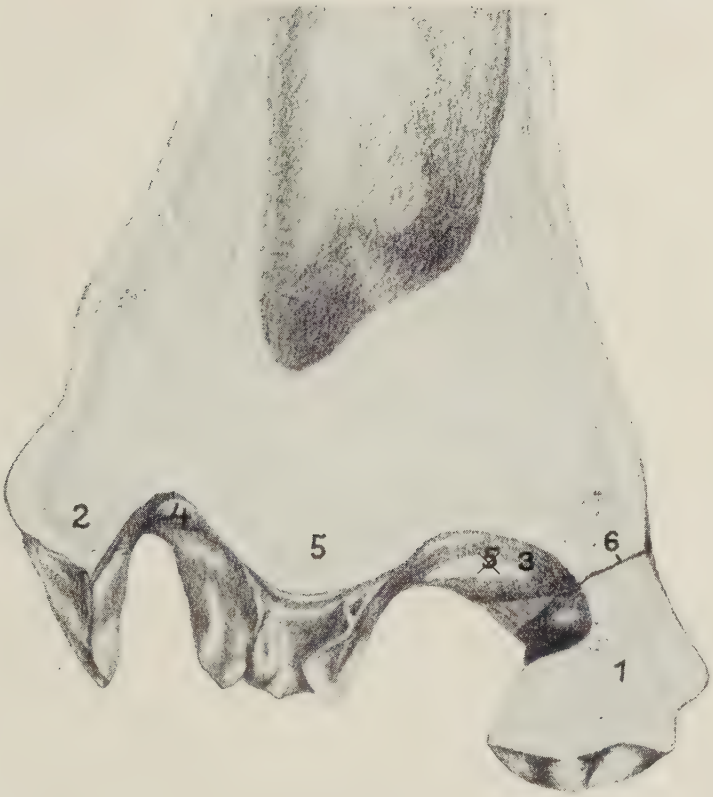

Abbildung I.

Rechte Tibia. Frontalschnitt durch das Distalende von plantar aufgenommen. 1. Os malleolare. 2. Malleolus medialis. 3. Laterale und 4. Mediale Auskehlung. 5. Kamm zwischen den Auskehlungen. 6. Straffgelenkige Verbindung zwischen Os malleolare und der Tibia.

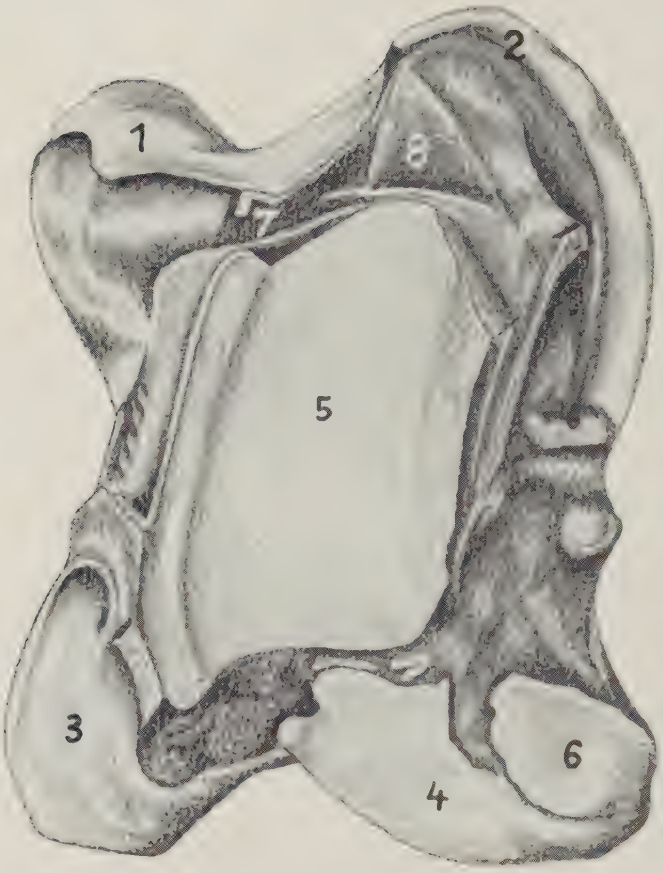

Abbildung II.

Rechter Talus von plantar und lateral.

1. Med. und 2. Lat. Kamm der prox. Rolle. 3. Med. und 4. Lat. Kamm der distalen Rolle. 5. Gleitfläche für den Calcaneus. 6. Gelenkfläche für den Fortsatz des Calcaneus. 7. Med. und 8. Lat. Anstoßfacette.

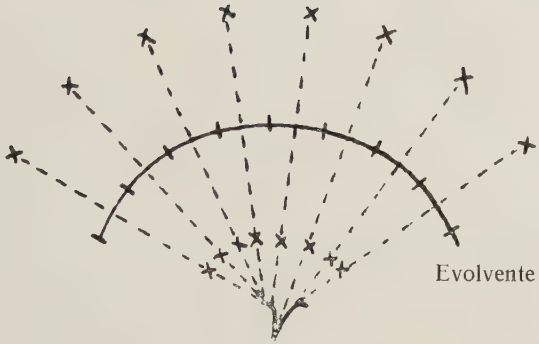

Abbildung IIIa.
Evolute des lat. Rollkammes der prox. Rolle.

Abbildung IIIb.
Evolute des med. Rollkammes der prox. Rolle.

Abbildung IV.

Evolute der Gleitfläche für den Calcaneus am Talus (Sagittalschnitt).

Abbildung V.

Evolute des med. Rollkammes der dist. Rolle.

Abbildung VI.

Evolute des lat. Rollkammes der dist. Rolle.

Abbildung VII.

Rechter Calcaneus, von medial aufgenommen.

1. Tuber. 2. Sustentaculum. 3. Processus cochlearis. 4. seine Gelenkfläche für das Os malleolare. 5. 5′, 5″ Gelenkflächen für das Rollbein. 6. Sulcus tali. 7. Gelenkfläche für das Centrotarsale.

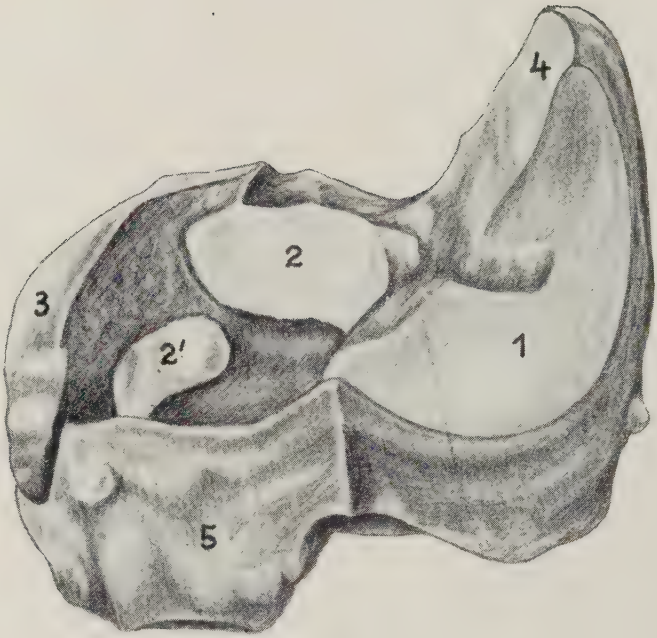

Abbildung VIII.

Rechtes Os centrotarsale, von dorsal gesehen.

1. Gelenkfläche für den med. Kamm der dist. Rolle. 2. u. 2'. Gelenkfläche für den lat. Kamm der dist. Rolle. 3. Gelenkfläche für das Distalende des Calcaneus. 4. Prox. und 5. Dist. Fortsatz des Os centrotarsale.

Abbildung IX.

Rechtes Sprunggelenk von medial und plantar (Bandpräparat).

1. Lig. collat. tibiale longum. 2. Lig. collat. tibiale breve. 3. Lig. tarsi dorsale. 4. Lig. talo-tibiale longum. 5. Lig. talo-tibiale breve. 6. Lig. talo-tibiale plant. caspulare. 7. Lig. talo-fibulare.

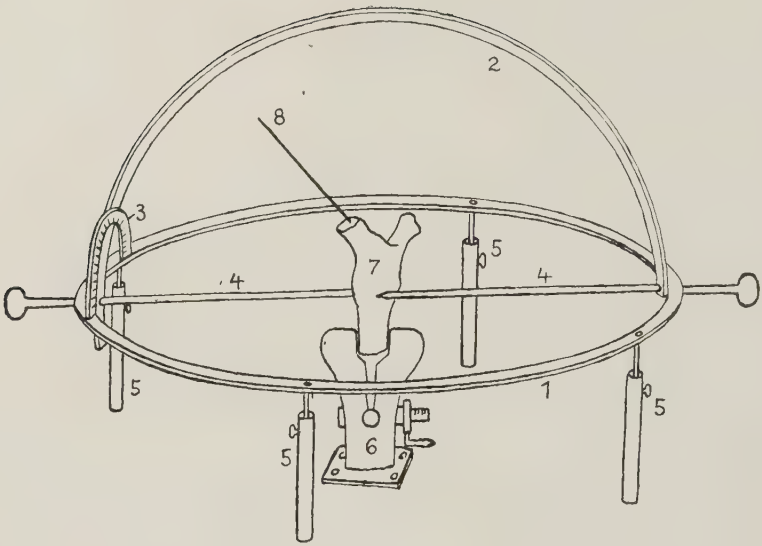

Abbildung X.

Gelenkphantom nach A. O. Stoß.

1. Kreisrahmen. 2. Beweglicher Meridian. 3. Winkelmesser. 4. Schraubstifte = Polachse. 5. Verstellbare Füße. 6. Schraubstock. 7. Gelenk. 8. Zeigernadel.

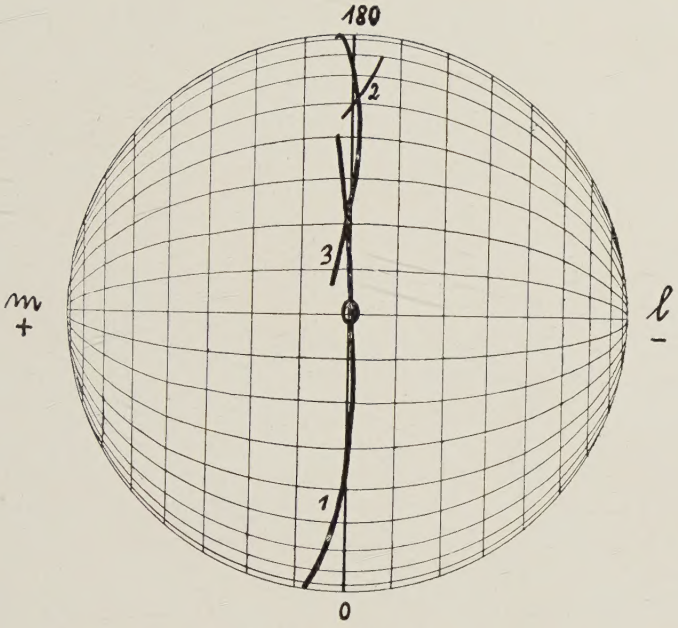

Abbildung XI.

Bewegungskurven an einem linken Sprunggelenk.

1. Tibia:	Extr. Streckung	130 Meridian	3,0 Breite
	Extr. Beugung	0 Meridian	7,0 Breite
2. Calc.:	Extr. Streckung	158 Meridian	— 6,0 Breite
	Extr. Beugung	136 Meridian	2,0 Breite
3. Talus:	Extr. Streckung	183 Meridian	3,5 Breite
	Extr. Beugung	96 Meridian	3,2 Breite